

Universidad de Costa Rica

Facultad de Ciencias

Escuela de Física

Departamento de Física Atmosférica, Oceánica y Planetaria.



Determinación de la distribución horaria de los máximos de precipitación en Costa Rica y caracterizarlos según el fenómeno oscilatorio ENOS.

---

Tesis presentada para optar al grado de  
Licenciatura en Meteorología

---

José Pablo Valverde Mora

12/08/2015

# DETERMINACIÓN DE LA DISTRIBUCIÓN HORARIA DE LOS MÁXIMOS DE PRECIPITACIÓN EN COSTA RICA Y CARACTERIZARLOS SEGÚN EL FENÓMENO OSCILATORIO ENOS.

Tesis de grado que se presenta en agosto del año 2015 a la Facultad de Ciencias, Escuela de Física de la Universidad de Costa Rica, como requisito para optar al grado de Licenciado en Meteorología.

## **Tribunal Examinador**

---

Dr. Javier Trejos Zelaya

Presidente del Tribunal

---

Dr. Walter Fernández Rojas

Director de Tesis

---

Lic. Rafael Enrique Chacón Mora

Miembro, Comité de Tesis

---

Dr. Jorge Gutiérrez Camacho

Miembro, Comité de tesis

---

Dr. Germán Vidaurre Fallas

Miembro del Tribunal

## RESUMEN

La gran variabilidad que presenta Costa Rica, climática y topográficamente hablando, aunado al constante cambio del uso del suelo en cada una de las regiones del país; se han conjuntado para crear y establecer zonas particulares donde las precipitaciones se ven fortalecidas y acrecentadas. Estas regiones también se ven favorecidas por factores o fenómenos meteorológicos de diversas escalas, que interactúan con el país estacionalmente como lo son las bajas presiones, ondas tropicales, ciclones tropicales, frentes fríos, ENOS entre otros.

La escogencia y análisis de un máximo de precipitación en un punto específico del país se ve limitada por la existencia de datos en la región. Es por ello que con la ayuda de los datos suministrados por el Instituto Costarricense de Electricidad (ICE) y el análisis del mapa de isoyetas del Balance hídrico superficial de Costa Rica (PHI-LAC/UNESCO, 2007), se seleccionaron seis puntos estratégicos lo más cercano posible a estas regiones de mayor precipitación. Las estaciones escogidas son: de la Zona Norte la 69507-Colonia Los Ángeles y 69524-Caño Negro; de la Región Caribe la 69604-La Montura y 73036-T-Seis y por el Pacífico Central la 69004-Naranjillo y 94006-S.P.Savegre. Las seis con un periodo de registro del 2000 al 2008.

Con el estudio se descubre que existe un rango específico de horas del día, para determinados meses del año, en que la probabilidad de que se presente ese máximo de precipitación horaria es alta. Este rango horario es por lo general vespertino, adjudicado tanto a factores físicos como termodinámicos como lo son: convergencia por interacción del Jet de Bajo Nivel del Caribe con el sistema montañoso de la región, la convección profunda en forma de tormentas de escala local, el paso de sistemas de mesoescala y sinópticos como las ondas del este, los ciclones tropicales o empujes fríos.

Para una mejor caracterización de tres de estos máximos de precipitación, se realiza el análisis de su comportamiento ante uno de los fenómenos de mayor variabilidad climática del país como lo es el ENOS. Tomando las estaciones 69604-La Montura y 73036-T-Seis de la Región Caribe y la 69004-Naranjillo del Pacífico Central (con periodos de registro de 1985 al 2008), se concluye que existen variaciones significativas (particulares) en cuanto a los registros de los acumulados pentadales promedio para las fases cálidas de los años: 1986-1988, 1991-1992 y 1997-1998; además de las fases frías de los años: 1988-1989, 1998-2001 y 2007-2008. Estas variaciones, por la puntualidad del dato, son en ocasiones anómalas y no representativas de las características propias de la región a la que pertenecen estos máximos de precipitación horarios.

## *DEDICATORIA*

A Dios por haberme dado la  
oportunidad de estudiar y a mis padres  
porque sin ellos no hubiese sido  
posible...

## AGRADECIMIENTOS

Al Dr. Walter Fernández Rojas y al Lic. Rafael Enrique Chacón por sus aportes y directrices a la hora de realizar este trabajo así como por su valioso tiempo invertido en la misma.

Agradezco también al Dr. Jorge Gutiérrez y al Dr. Germán Vidaurre por sus valiosos comentarios.

A todos los profesores de la Escuela de Física de la Universidad de Costa Rica que en el transcurso de mi carrera en Meteorología influyeron y contribuyeron en mi formación.

Al Instituto Meteorológico Nacional donde laboro; que con su director, jefes y políticas fomentan y facilitan la superación y capacitación de sus trabajadores.

A aquellas otras personas que, de una u otra forma, incentivaron e influyeron en mí a la realización de este proyecto.

# ÍNDICE GENERAL

Hoja de aprobación .....	i
<b>Resumen</b> .....	ii
<i>DEDICATORIA</i> .....	iii
AGRADECIMIENTOS .....	iv
<b>Índice General</b> .....	v
<b>Índice de Figuras</b> .....	vii
<b>Índice de Tablas</b> .....	xi
<b>CAPÍTULO 1</b> .....	1
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	1
1.1 Objetivos .....	1
1.2 Conceptos básicos de la climatología de Costa Rica .....	2
1.3 Algunos mecanismos y formas importantes de precipitación en Costa Rica .....	5
<b>CAPÍTULO 2</b> .....	7
<b>ANÁLISIS ESTADÍSTICO Y METODOLOGÍA</b> .....	7
2.1 Series de tiempo .....	7
2.2 Análisis de saltos .....	8
2.3 Análisis de la tendencia .....	9
2.4 Análisis de la estacionalidad .....	10
2.5 Análisis de componentes principales .....	11
2.6 Modelo autoregresivo del alto orden $AR(p)$ .....	12
2.7 ENOS, El Niño-Oscilación del Sur .....	13
2.8 Metodología .....	15
<b>CAPÍTULO 3</b> .....	18
<b>ANÁLISIS DE LOS DATOS: RESULTADOS</b> .....	18
3.1 Series de datos. ....	18
3.2 Tendencias .....	20
3.3 Estacionalidad .....	21
3.4 Anomalía de los registros .....	22
3.5 Distribución de la precipitación horaria .....	23
3.6 Efectos indirectos del ENOS .....	33
3.6.1 Eventos Niños .....	35

3.6.2 Eventos Niñas.....	37
<b>CAPÍTULO 4.....</b>	<b>50</b>
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>50</b>
<b>Anexo 1 .....</b>	<b>54</b>
<b>A1.1-Completado de series de datos .....</b>	<b>54</b>
<b>A1.2-Análisis de calidad.....</b>	<b>57</b>
<b>A1.3-Componentes de las series de tiempo: TENDENCIA .....</b>	<b>59</b>
<b>A1.4 ESTACIONALIDAD .....</b>	<b>62</b>
<b>A1.5 RUIDO de las SEÑALES.....</b>	<b>65</b>
<b>Anexo 2 .....</b>	<b>68</b>
<b>Anexo 3 .....</b>	<b>70</b>
<b>Referencias.....</b>	<b>73</b>

# ÍNDICE DE FIGURAS

PP

## CAPÍTULO 1.

Figura 1: Distribución mensual de los dos regímenes de precipitación de Costa Rica. (Alvarado y Fernández, 2001b).....4

Figura 2: Algunos mecanismos y formas de precipitación en Costa Rica. Estratificada (a), Convectiva (b) y Orográfica (c).....6

## CAPÍTULO 2.

Figura 3: Ubicación geográfica de las estaciones en estudio.....16

## CAPÍTULO 3.

Figura 4. Anomalía de precipitación anual. Comparación entre periodo 1961-1990 y 1991-2005. (Fuente: Clima, Variabilidad y Cambio Climático en CR. IMN-CRRH, 2008).....21

Figura 5: Distribuciones Horario-Mensual. Estación Colonia L. Ángeles (Zona Norte).....27

Figura 6: Distribución Horaria-Mensual. Estación: Caño Negro (Zona Norte).....28

Figura 7: Distribución Horaria-Mensual. Estación: La Montura (Región Caribe).....29

Figura 8: Distribución Horaria-Mensual. Estación: T-Seis (Región Caribe).....30

Figura 9: Distribución Horaria-Mensual. Estación: Naranjillo (Pacífico Central).....31

Figura 10: Distribución Horaria-Mensual. Estación: S.P. Savegre (Pacífico Central).....32

Figura 11: Distribución pentadal promedio para tres de las estaciones en estudio. Periodo 1985 - 2008.....34

Figura 12: Análisis de la precipitación pentadal promedio acumulada en la estación (a) La Montura, (b) T-Seis, (c) Naranjillo. Periodo Niño 1986-88.....38

Figura 13: Análisis de la precipitación pentadal promedio acumulada en la estación (a) La Montura, (b) T-Seis, (c) Naranjillo. Periodo Niño 1991-92.....39

Figura 14: Análisis de la precipitación pentadal promedio acumulada en la estación (a) La Montura, (b) T-Seis, (c) Naranjillo. Periodo Niño 1997-98.....40



Figura 15: Análisis de la precipitación pentadal promedio acumulada en la estación (a) La Montura, (b) T-Seis, (c) Naranjillo. Periodo Niña 1988-89.....	41
Figura 16: Análisis de la precipitación pentadal promedio acumulada en la estación La Montura. Periodo Niña 1998 – 2001.....	42
Figura 17: Análisis de la precipitación pentadal promedio acumulada en la estación T-Seis. Periodo Niña 1998 - 2001.....	42
Figura 18: Análisis de la precipitación pentadal promedio acumulada en la estación Naranjillo. Periodo Niña 1998 - 2001.....	43
Figura 19: Análisis de la precipitación pentadal promedio acumulada en la estación (a) La Montura, (b) T-Seis, (c) Naranjillo. Periodo Niña 2007 -08.....	44
Figura 20: Anomalía estandarizada pentadal del evento Niño de Setiembre 1986 a Enero 1988 para las dos estaciones de la RC.....	46
Figura 21: Anomalía estandarizada pentadal del evento Niño de Mayo 1991 a Junio 1992 para las dos estaciones de la RC.....	47
Figura 22: Anomalía estandarizada pentadal del evento Niña de Agosto 2007 a Junio 2008 para las dos estaciones de la RC.....	48
Figura 23: Anomalía estandarizada pentadal del evento Niña de Agosto 1998 a Enero del 2001. Estaciones de RC.....	49

## **ANEXOS.**

### **Anexo 1.1**

Figura A1.1.1: Acumulado mensual de la estación Colonia L. Ángeles (Zona Norte).....	54
Figura A1.1.2: Acumulado mensual de la estación Caño Negro (Zona Norte).....	54
Figura A1.1.3: Acumulado mensual de la estación La Montura (Región Caribe).....	55
Figura A1.1.4: Acumulado mensual de la estación T-Seis (Región Caribe).....	55
Figura A1.1.5: Acumulado mensual de la estación Naranjillo (Pacífico Central).....	56
Figura A1.1.6: Acumulado mensual de la estación S. P. Savegre (Pacífico Central).....	56

### **Anexo 1.2**

Figura A1.2: Análisis de saltos para dos estaciones de registro dudoso.....	58
---	----

### Anexo 1.3

Figura A1.3.1: Tendencia de la estación Colonia L. Ángeles (Zona Norte).....	59
Figura A1.3.2: Tendencia de la estación Caño Negro (Zona Norte).....	59
Figura A1.3.3: Tendencia de la estación La Montura (Región Caribe).....	60
Figura A1.3.4: Tendencia de la estación T-Seis (Región Caribe).....	60
Figura A1.3.5: Tendencia de la estación Naranjillo (Pacífico Central).....	61
Figura A1.3.6: Tendencia de la estación S. P. Savegre (Pacífico Central).....	61

### Anexo 1.4

Figura A1.4.1: Índices Estacionales. Colonia L. Ángeles (ZN).....	62
Figura A1.4.2: Índices Estacionales. Caño Negro (ZN).....	62
Figura A1.4.3: Índices Estacionales. La Montura (RC).....	63
Figura A1.4.4: Índices Estacionales. T-Seis (RC).....	63
Figura A1.4.5: Índices Estacionales. Naranjillo (PC).....	64
Figura A1.4.6: Índices Estacionales. S. P. Savegre (PC).....	64

### Anexo 1.5

Figura A1.5.1: Anomalía de la estación sin rasgos de Tendencia y Estacionales. Colonia L. Ángeles (ZN).....	65
Figura A1.5.2: Anomalía de la estación sin rasgos de Tendencia y Estacionales. Caño Negro (ZN).....	65
Figura A1.5.3: Anomalía de la estación sin rasgos de Tendencia y Estacionales. La Montura (RC).....	66
Figura A1.5.4: Anomalía de la estación sin rasgos de Tendencia y Estacionales. T-Seis (RC).....	66
Figura A1.5.5: Anomalía de la estación sin rasgos de Tendencia y Estacionales. Naranjillo (PC).....	67
Figura A1.5.6: Anomalía de la estación sin rasgos de Tendencia y Estacionales. S. P. Savegre (PC).....	67

### Anexo 2

Figura A2.1: Índice Oceánico del Niño (ONI). Intensidad del evento ENOS.....	69
--	----

### Anexo 3

Figura A3.1: Precipitación mensual acumulada promedio. Estación: Colonia L. Ángeles (ZN).....	70
Figura A3.2: Precipitación mensual acumulada promedio. Estación: Caño Negro (ZN).....	70
Figura A3.3: Precipitación mensual acumulada promedio. Estación: La Montura (RC).....	71
Figura A3.4: Precipitación mensual acumulada promedio. Estación: T-Seis (RC).....	71
Figura A3.5: Precipitación mensual acumulada promedio. Estación: Naranjillo (PC).....	72
Figura A3.6: Precipitación mensual acumulada promedio. Estación: S. P. Savegre (PC).....	72

# ÍNDICE DE TABLAS

PP

## CAPÍTULO 1

Tabla 1: Precipitación promedio anual para cada una de las regiones climáticas. (IMN-CRRH, 2008).....	5
---	---

## CAPÍTULO 2

Tabla 2: Análisis Estacional.....	11
Tabla 3: Variación de la precipitación anual durante eventos ENOS.....	14
Tabla 4: Estaciones meteorológicas y sus regiones.....	15

## CAPÍTULO 3

Tabla 5. Cantidad y Porcentaje de Datos Faltantes.....	18
Tabla 6: Precipitación acumulada horaria máxima de cada estación. (Valores mensuales).....	25
Tabla 7: Anomalías y Precipitación Acumulada pentadal (mensual) promedio en los periodos NIÑO en estudio.....	45
Tabla 8: Anomalías y Precipitación Acumulada pentadal (mensual) promedio en los periodos NIÑA en estudio.....	45

## ANEXOS

Tabla A1.2: Precipitación Anual promedio para dos estaciones de la Región Caribe y una del Pacífico .....	57
Tabla A2.1: Índice Oceánico del Niño que caracteriza el evento ENOS .....	68

# **CAPÍTULO 1**

## **INTRODUCCIÓN**

### **1.1 Objetivos**

El objetivo general de este trabajo es determinar la ocurrencia horaria más probable de lluvia para regiones de máximos de precipitación en Costa Rica, considerando un registro del promedio de esta del 2000 al 2008. Dentro de este contexto están los siguientes dos objetivos específicos:

- a. Seleccionar los puntos máximos de precipitación en Costa Rica por medio de la observación de un mapa espacial de la misma.
- b. Relacionar unos de estos máximos de precipitación horaria con las diferentes fases del ENOS, para determinar el comportamiento de los mismos y caracterizarlos según la región climática a la que pertenecen.

La variabilidad climática propia de nuestro país es muy amplia debido a una topografía irregular que abarca desde llanuras a pocos metros sobre el nivel del mar, cerca de las costas, hasta un sistema montañoso que en ocasiones alcanza altitudes entre los 2000 y 3800 m, con algunas mesetas incluidas en este. Es por ello que la existencia de máximos de precipitación, espaciales y temporales, se distribuyen de forma irregular no solo acorde a su respectiva distribución anual, sino también por época del año y por factores orográficos en las regiones en los que se presentan. Por lo que se torna trascendental el conocer y analizar la distribución horaria de esta precipitación, esto para cada uno de estos máximos más relevantes que se registran en el país. Por ejemplo, sería importante conocer para la estación meteorológica T-Seis (máximo conocido para la vertiente Caribe), cuales son las horas en las que, en promedio, se registra la mayor cantidad de lluvia, aparte de poder realizar el estudio del por qué de las mismas.

Por otro lado, el conocer las horas más probables de ocurrencia de cantidades específicas de precipitación, traerá beneficios para regiones y poblados cerca de estos máximos en aspectos como: turismo, agricultura y ganadería. Además, en cuanto a la planificación de protocolos de emergencia de regiones aledañas asociadas a las cuencas de los mismos, entre las cuales están las de los ríos: San Carlos y Sarapiquí de la región

Zona Norte; la del Chirripó y la del Reventazón de la Región Caribe y las de los ríos Naranjo y Savegre del Pacífico Central; especialmente porque todas estas presentan los caudales específicos más grandes del país ( $>120\text{L/s}\cdot\text{Km}^2$  (PHI-LAC/UNESCO, 2007)).

## 1.2 Conceptos básicos de la climatología de Costa Rica

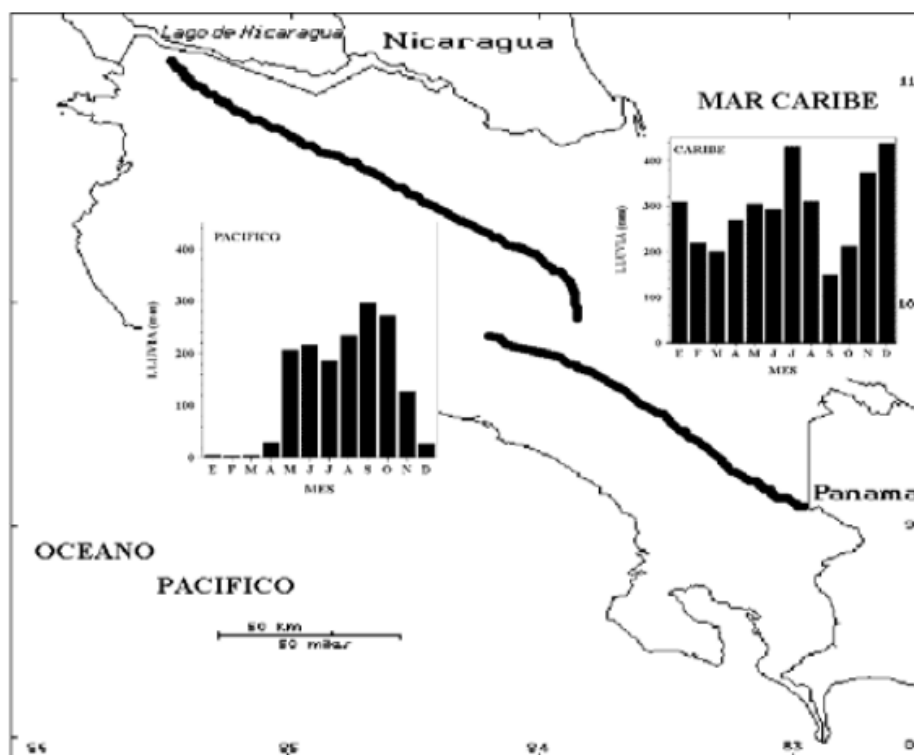
Costa Rica se ubica entre los  $8^{\circ}00'$  N y  $11^{\circ}15'$  N; y entre los  $82^{\circ}30'$  O y  $86^{\circ}00'$  O. Esta localización latitudinal está dentro de la zona tropical, región donde la precipitación es alta y por lo general mayormente regulada por el paso de Zona de Confluencia Intertropical (ZCIT), sin descartar la ocurrencia de frentes fríos y ciclones tropicales en distintas épocas del año.

Los vientos predominantes en Costa Rica son los Norestes (alisios), con flujo consistente sobre la costa Caribe, produciendo lluvia sobre esta y en ocasiones “derrames” de lluvia hacia la vertiente Pacífico. Además, existe una región de amplia precipitación hacia el noreste del país, extendiéndose hasta territorio nicaragüense inclusive, producida en el invierno boreal por los vientos provenientes del norte o más conocidos como “Nortes”, cuando soplan de Norteamérica y pasan sobre Centroamérica. Estos producen convergencia producto de la topografía del país y los gradientes de presión, generando fuerte precipitación costera siguiendo el paso de los frentes fríos. (Waylen et al., 1995).

A lo largo de la vertiente Pacífico, el desplazamiento de la ZCIT durante el verano (boreal) y su persistencia en otoño hacia el norte, es lo que produce los patrones de lluvias más marcados para estas regiones. Esto debido a la deflexión de los vientos hacia la baja presión al cruzar el Ecuador, recurriendo sobre el país como vientos ecuatoriales superficiales del oeste (Zárate, 1978). Embebidos en estos vientos del oeste se pueden presentar, ocasionalmente, disturbios de gran escala o “temporales”, los cuales producen precipitación copiosa y de gran variabilidad para estas regiones. Hacia el invierno boreal la ZCIT emigra hacia el sur (cerca de los  $3^{\circ}\text{N}$ ) generando oestes solo para las regiones del suroeste del país con ocasionales “derrames” hacia los sectores montañosos caribeños. (Waylen et al., 1995).

En Costa Rica se distinguen dos regímenes de precipitación (Zárate, 1977 y Muñoz et al., 2002), uno característico de la vertiente Pacífico con una época seca bien definida entre los meses de diciembre a abril y una época lluviosa de mayo a noviembre, con un mínimo secundario entre los meses de julio y agosto, conocido como Veranillo o Canícula (IMN-CRRH, 2008). El otro régimen es el de la vertiente Caribe el cual es más irregular, por lo que no se distingue una época seca marcada, además de tener diferentes regímenes de lluvia en: la Zona Caribe (parte alta, parte media y la región costera) y el régimen de la vertiente Caribe en la Zona Norte (IMN-CRRH, 2008). Estos dos patrones están establecidos para cada una de las regiones de las vertientes Pacífico y Caribe. Entre las regiones de la vertiente Pacífico están: Pacífico Norte (PN), Pacífico Central (PC), Pacífico Sur (PS) y el Valle Central (VC); mientras que para la vertiente Caribe son dos: Zona Norte (ZN) y Región Caribe (RC) subdividida en Caribe Norte (CN) y Caribe Sur (CS). La caracterización y diferenciación de cada una de estas regiones se basa según IMN-CRRH (2008) en: los regímenes de precipitación, orientación y altura de sistemas montañosos que los delimitan, los vientos predominantes y la influencia marítima en ambas costas.

Con base en dos estaciones representativas, se pueden caracterizar estas regiones de acuerdo a la distribución temporal de la precipitación que se presenta durante el año, como se mencionó anteriormente; por lo general se tiene que para toda la vertiente Pacífico se da una distribución bimodal con dos máximos de precipitación en junio y setiembre, con una leve disminución de las mismas entre julio y agosto (Figura 1). Por otro lado se da una distribución más irregular para la vertiente Caribe, donde el patrón no está bien definido pero el rasgo general es el aumento de precipitaciones entre fin y principio de año (noviembre-enero), además de un máximo en el mes de julio. Esto es típico de la región debido al máximo de recurrencia de frentes fríos que afectan durante esta época. Lo anterior se observa en la figura 1, tomada de Alvarado y Fernández (2001b), el cual toma las estaciones de Puntarenas (78760) y la de Puerto Limón (78767), como las características de los dos regímenes de precipitación predominante.



*Figura 1: Distribución mensual de los dos regímenes de precipitación de Costa Rica. (Alvarado y Fernández, 2001b).*

Además, se debe caracterizar dos niveles en la Zona Norte; el primero es al pie del monte (800-1200 msnm), donde la precipitación anual es superior a los 2000 mm anuales; el segundo es la parte alta de la cordillera (1500-2300 msnm), donde se denota una influencia del Pacífico pudiéndose observar en algunas estaciones, inclusive, el veranillo. Se puede observar en la tabla 1 los valores promedios anuales de precipitación para cada una de las regiones del país. En el caso del Valle Central se presentan dos valores: los 1675 mm corresponden a la parte oriental del Valle, mientras que la parte occidental presenta mayor cantidad de precipitación por año (2322 mm).



*Tabla 1: Precipitación promedio anual para cada una de las regiones climáticas. (IMN-CRRH, 2008).*

<b>Precipitación Anual</b>	
<b>Región</b>	<b>Acumulado Promedio (mm)</b>
<i>Pacífico Norte</i>	2008
<i>Pacífico Central</i>	3487
<i>Pacífico Sur</i>	3693
<i>Valle Central</i>	1675/2322*
<i>Zona Norte</i>	3247
<i>Caribe Norte</i>	3702
<i>Caribe Sur</i>	2878

\*Oriental/Occidental

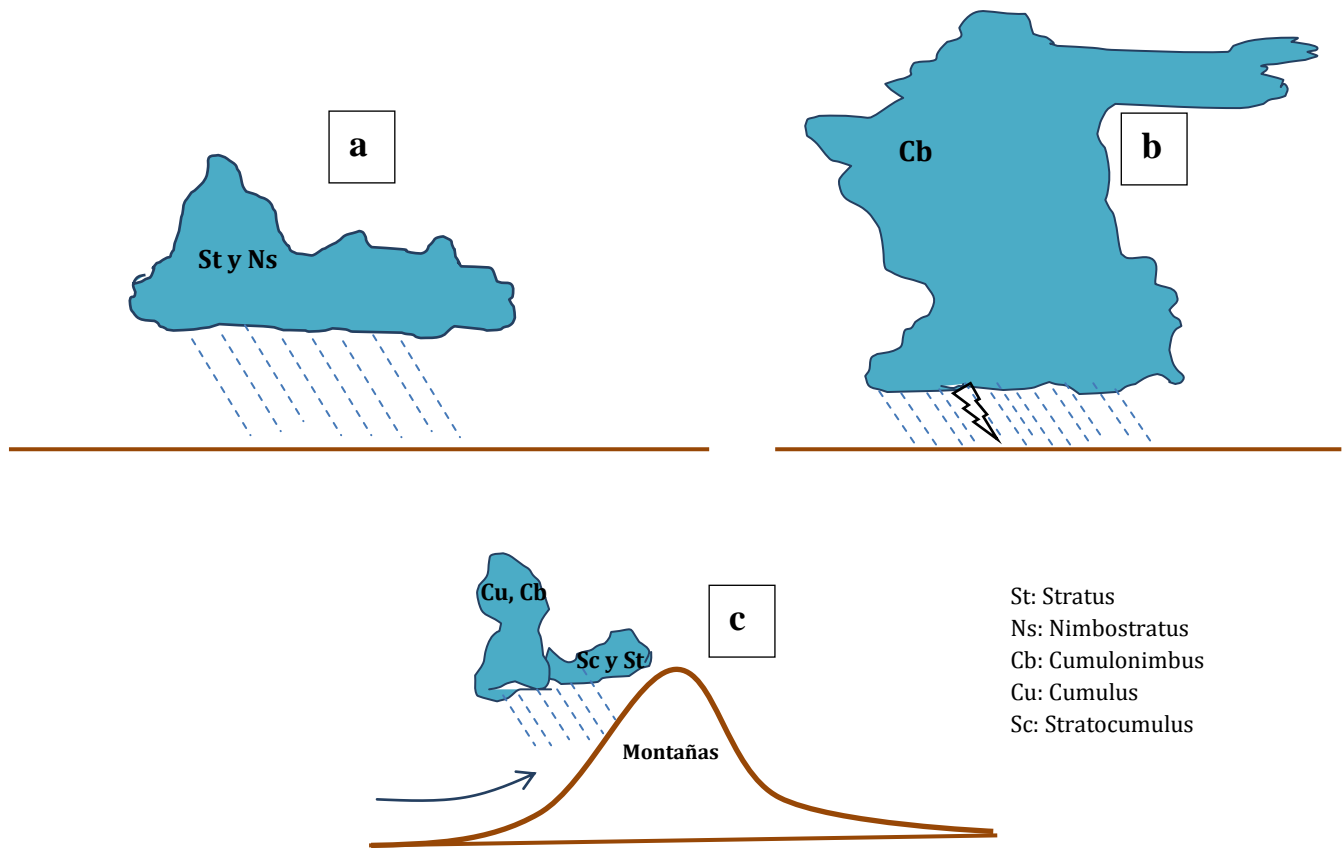
### **1.3 Algunos mecanismos y formas importantes de precipitación en Costa Rica.**

La precipitación en Costa Rica se puede presentar en dos formas básicas: la estratiforme, que descende de nubes nimbostratos y la convectiva, que se da en nubes cúmulos o cumulonimbus (Houze, 1993).

La precipitación estratiforme es el proceso donde el movimiento vertical es pequeño, comparado con la velocidad de caída de los cristales de hielo (o nieve) que existen en la nube ( $V_{\text{hielo}} \sim 1-3 \text{ m s}^{-1}$ ). El tiempo de crecimiento de las partículas de precipitación puede variar de 1 a 3 horas (Figura 2 a).

La precipitación convectiva es el proceso donde el movimiento vertical es superior al movimiento de caída de las partículas de hielo, variando de  $1-10 \text{ m s}^{-1}$ . Con esto, el tiempo para el crecimiento de las partículas de precipitación es limitado, llegando en ocasiones a precipitar media hora después de la formación de la nube (Figura 2 b).

Una combinación de las dos anteriores es la precipitación orográfica, la cual se presenta por ascensos estables de flujo sobre perfiles topográficos (montañas) donde, si el aire forzado a ascender es suficientemente húmedo, la condensación ocurrirá. Cuando el flujo de aire sobre el terreno es potencialmente inestable, el ascenso inducido por este conducirá a la liberación de inestabilidad, por lo que nubes orográficas tenderían a ser más del tipo cumuliforme (Figura 2 c).



*Figura 2: Algunos mecanismos y formas de precipitación en Costa Rica.  
Estratificada (a), Convectiva (b) y Orográfica (c).*

## CAPÍTULO 2

# ANÁLISIS ESTADÍSTICO Y METODOLOGÍA

En este capítulo se realiza una revisión de los fundamentos del análisis estadístico utilizado en el tratamiento de los datos, además se describe la metodología a seguir.

### 2.1 Series de tiempo

Las series de tiempo son sucesiones de observaciones ordenadas de una variable tomadas en varios instantes de tiempo. Para su estudio es importante clasificarlas en series estacionarias y no estacionarias.

Las series estacionarias son las que su media y su desviación estándar permanecen constantes a lo largo del tiempo (Wilks, 2006).

Las series no estacionarias tienen como característica que la media y la desviación estándar pueden cambiar a lo largo del tiempo. Por tanto, estas series pueden mostrar una tendencia en su media y efectos estacionales, es decir, presentan un comportamiento semejante en ciertos periodos de tiempo (Wilks, 2006).

En muchos casos se supone que la serie temporal es suma de varios componentes como lo son:

$$X_t = T_t + S_t + I_t \quad (1)$$

donde:

$X_t$ : **Valor Observado.**

$T_t$ : **Tendencia;** son cambios lentos y continuos en cualquier parámetro de la serie, afectando su distribución y dependencia.

$S_t$ : **Estacionalidad;** movimientos de oscilación dentro del año.

$I_t$ : **Irregularidad;** se refiere a variaciones aleatorias alrededor de los componentes anteriores.

## 2.2 Análisis de saltos

Los saltos son cambios bruscos que permiten a una serie pasar de un estado a otro, presentándose por lo general en la media y en la desviación estándar. Para identificar un salto se puede realizar:

- Análisis visual de los datos en función del tiempo.
- Análisis de curvas de doble acumulación o masa. Para el caso de precipitación se aplica a estaciones que presenten el régimen de precipitación semejante.

### 2.2.1 Pasos para realizar el análisis de saltos en una serie de tiempo

El primer paso es calcular el Patrón de Precipitaciones Anuales (**PPA**). Se deben seleccionar los datos más extensos y que se consideren los mejores observados (los cuales dependen de la experiencia del analista y de las características de los datos en estudio), luego se aplica la curva de doble acumulación siguiente:

$$PPA = \frac{1}{N} \sum P_x \quad (2)$$

donde: **PPA**: Patrón de Precipitación Anual (mm).

**$P_x$** : Precipitación anual en milímetros de la estación  $x$ .

**$N$** : Número de estaciones.

El segundo paso es acumular cronológicamente (del año más antiguo al más reciente), los valores anuales de **PPA** y de las estaciones. Lo anterior es para los años seleccionados como mejor observados, descrito en el primer paso.

En tercer lugar se realiza un gráfico del total de precipitación de cada una de las estaciones para los años de registro ( **$P$** ), en función del Patrón de Precipitación de un Año (**PPA**). Si los puntos de este gráfico se alinean en una sola tendencia, o sea si es posible trazar una línea sin quiebres para cada estación, entonces dicha estación es consistente. Por otro lado, si la tendencia de una estación presenta quiebres o cambios en la pendiente (mínimo un periodo de 5 años) significa que dicha estación  $x$  no es consistente, por lo que se procede a eliminarla de la **PPA**. Luego se procede a calcular la

nueva **PPA** con las estaciones restantes y se vuelve a repetir el procedimiento hasta determinar los registros más confiables.

### 2.2.2 Evaluación del salto

Para esto se realiza una estimación cualitativa del cambio de pendiente que tiene cada uno de los dos periodos en cuestión, esto por medio de una regresión lineal simple de la forma:

$$\hat{y}_i = mx_i + b \quad (3)$$

con:  $y_i = (P)$  y  $x_i = (PPA)$  del gráfico del paso anterior.

O mediante la prueba  $t$  para un nivel de confianza del 95% para los dos periodos a analizar, utilizando la media ( $\bar{X}$ ) y desviación estándar ( $S(x)$ ) de cada periodo.

$$\bar{X} = \sum_{i=1}^n \frac{x_i}{n} \quad (4)$$

$$S(x) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}_1)^2}{n-1}} \quad (5)$$

## 2.3 Análisis de la tendencia

Las tendencias pueden ser de tipo lineal o no lineal e implica una dependencia en el tiempo.

Estas se presentan generalmente en parámetros como la media y desviación estándar. Para analizar la tendencia en la media se debe expresarla como una ecuación que puede ser:

$$\text{a) Polinomial: } T_m = A_m + B_m t + C_m t^2 + D_m t^3 + \dots \quad (6)$$

$$\text{b) Lineal: } T_m = A_m + B_m t \quad (7)$$

donde;  $T_m$ : Tendencia de la media.

$t$ : Tiempo de la tendencia (variable independiente)

$A_m, B_m, C_m, D_m$ : Coeficientes de las ecuaciones de regresión.

Para determinar si la tendencia es (o no) significativa, se analiza el coeficiente de correlación  $R$ , mediante el estadístico  $t$  para un nivel de confianza del 95% realizando los siguientes pasos:

- 1- Se calcula el valor del  $t$  crítico ( $t_c$ ) mediante la relación:

$$t_c = \frac{R\sqrt{n-2}}{\sqrt{1-R^2}} \quad (8)$$

donde:  $n$ : Número de datos.  
 $R$ : Coeficiente de correlación.  
 $R^2$ : Coeficiente de determinación.

- 2- Se busca en tablas estadísticas la  $t$  tabulada ( $t_t$ ) para un nivel de confianza del 95% y  $n-2$  grados de libertad.
- 3- -Si  $|t_c| < t_t$  significa que  $R$  no es significativo, por lo tanto no se corrige la serie por tendencia en la media.  
 -Si  $|t_c| > t_t$  significa que  $R$  es significativo, por lo tanto se debe corregir la serie por tendencia en la media mediante la relación:

$$X'(t) = X_t - T_m \quad (9)$$

donde:  $X_t$ : datos de la serie analizada.  
 $T_m$ : tendencia en la media dada por la ecuación de regresión ya sea lineal o polinomial.

## 2.4 Análisis de la estacionalidad

Un método para estimar el efecto estacional (valor global de cada mes) es considerar como varía la media del período (mes) respecto a la media global. Lo anterior se detalla a continuación.

- 1- Se debe ordenar los años en estudio en forma creciente hacia la derecha; y hacia abajo los meses como se observa en la tabla 2. Esta tabla se debe realizar para cada estación.
- 2- Para cada tabla se calcula la media mensual de cada año ( $\mu_{i\bullet}$ ). Además de la media anual con cada mes ( $\mu_{\bullet i}$ ). (Ver Tabla 2).

Tabla 2: Análisis Estacional.

	<u>Años</u>					
<u>MESES</u>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>....</b>	<b>N</b>	<b>Medias</b>	<b>S</b>
Enero	$x_{11}$	$x_{12}$	....	$x_{1n}$	$\mu_{1\bullet}$	$S_1$
Febrero	$x_{21}$	$x_{22}$	....	$x_{2n}$	$\mu_{2\bullet}$	$S_2$
...	$\vdots$	$\vdots$	....	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
...	$\vdots$	$\vdots$	....	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
Noviembre	$x_{111}$	$x_{112}$	....	$x_{11n}$	$\mu_{11\bullet}$	$S_{11}$
Diciembre	$x_{121}$	$x_{122}$	....	$x_{12n}$	$\mu_{12\bullet}$	$S_{12}$
Medias	$\mu_{\bullet 1}$	$\mu_{\bullet 2}$	....	$\mu_{\bullet n}$	$\mu_{\bullet\bullet}$	

- 3- Se calculan los coeficientes estacionales estandarizados (última columna de la tabla 2), mediante la fórmula:

$$S_i = \frac{\bar{\mu}_{i\bullet} - M}{M} \quad \text{para } i = 1, 2, \dots, 11, 12. \quad \text{y } M = \mu_{\bullet\bullet} \quad (10)$$

suponiendo que el efecto estacional  $S_t$  satisface:

$$S_t = S_{t+12} = S_{t+24} = \dots \quad (11)$$

## 2.5 Análisis de componentes principales

Esta técnica se basa en representar una gran cantidad de datos o variables, mediante un modelo “relativamente” de pocas variables. Esto por medio de una combinación lineal de las nuevas variables, con el objetivo de que expresen la máxima variabilidad de los datos originales.

Dicho de otra forma, este análisis utiliza la información de las demás estaciones (que son climatológicamente cercanas) por medio de correlaciones entre ellas, para capturar

patrones y variabilidad de las series y así recuperar efectos de escala mayor despreciando los efectos de menor escala (Alfaro y Soley, 2009).

## 2.6 Modelo autoregresivo del alto orden $AR(p)$ .

Este método se utiliza para el rellenado de datos ausentes, especialmente cuando no se tienen estaciones climatológicamente cercanas. El modelo auto-regresivo general de orden  $p$  es:

$$x_{t+1} = \sum_{p=1}^p \phi_p (x_{t-p+1} - \mu) + \mu + \varepsilon_{t+1} \quad . \quad (12)$$

En este, el nuevo dato predictado  $x_{t+1}$  es la suma pesada de las previas  $p$  anomalías, aunado a la media  $\mu$  de la serie de tiempo, más unos residuos  $\varepsilon$  de la regresión. Los pesos son los coeficientes autoregresivos  $\phi_p$ . A estos modelos se les llama filtros y tienen la propiedad de que, por el principio de Máxima Entropía, los valores calculados son consistentes con las propiedades estadísticas de la serie; es decir, que aunque existen datos ausentes, al rellenarlos serán estadísticamente consistentes con el resto de la serie.

Para completar la serie de datos de las estaciones se utilizó la macro llamada “llenautlw.sci” diseñada por Alfaro y Soley (2009), escrita en lenguaje computacional de “Scilab”. En su trabajo se recalca que el método se puede realizar en tiempo reverso, por lo que se puede rellenar valores ausentes anteriores al valor  $x_{t+1}$ .

$$x_t = \phi_1 (x_{t-1} - \mu) + \phi_2 (x_{t-2} - \mu) + ..... + \phi_p (x_{t-p} - \mu) + \mu + \varepsilon_t \quad . \quad (13)$$

Con este modelo los coeficientes se ajustan de tal manera que el error corresponda a ruido blanco y varianza mínima, por lo que es despreciable.



## 2.7 ENOS, El Niño-Oscilación del Sur

Este fenómeno es la fuente de mayor variabilidad climática interanual en los trópicos, el cual relaciona las componentes oceánica y atmosférica. La oceánica es la corriente de El Niño, costera y cálida, que se desplaza a lo largo de la costa de Ecuador y Perú. Mientras que la atmosférica se refiere a los cambios interanuales de las condiciones en la atmósfera sobre el océano Pacífico ecuatorial (Fernández y Ramírez, 1991). Las fases que presenta este fenómeno son: La Cálida (El Niño), donde se da un calentamiento anormal del agua en el Pacífico Ecuatorial, además de una disminución de la Oscilación del Sur<sup>1</sup>. La Fría (La Niña), caracterizada por la presencia de aguas anómalamente más frías en el Pacífico Ecuatorial y un aumento de Oscilación del Sur.

Otra definición de este fenómeno es la utilizada por la Administración Nacional del Océano y la Atmósfera (NOAA), la cual dice que el ENOS es el calentamiento o enfriamiento con variaciones superiores o inferiores a los 0.5°C de la región Niño 3.4 en un periodo de tres trimestres móviles consecutivos. Se utiliza para ello el Índice Oceánico del Niño (ONI), el cual es calculado a partir de la temperatura superficial del mar teniendo para este un periodo base, que de momento, es el que va del año 1981-2010.

(Recuperado de

[http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis\\_monitoring/ensostuff/ONI\\_change.shtml](http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ONI_change.shtml))

La ocurrencia del fenómeno ENOS altera los vientos sobre el territorio nacional (Alvarado y Fernández, 2001a), por ende, se altera la precipitación en las vertientes Pacífico y Caribe, además de las temperaturas sobre todo durante la fase cálida. Por ejemplo, de acuerdo con Waylen et al. (1995), existen diferencias significativas para los valores medios de precipitación anual, particularmente a lo largo de la vertiente Pacífico, donde reducciones de los valores medios entre años de fases cálidas y frías de más de los 400 mm son comunes en gran parte del país, además de superar los 800 mm hacia suroeste del mismo. Estas diferencias constituyen el 40 por ciento de la precipitación anual (Waylen et al., 1995).

---

<sup>1</sup> Cambios en la presión de dos islas particulares los cuales sirven para medir, indirectamente, la oscilación del El Niño. Los puntos usados para calcular esas diferencias de presión son llamados TAHITÍ y DARWIN.

Por otro lado, el Instituto Meteorológico Nacional calculó los montos y porcentajes en que varía cada una de las Regiones Climáticas, dependiendo de la fase del ENOS que se presente, donde se ratifica lo anteriormente citado por estudios preliminares (Tabla 3).

En general, existe una alta probabilidad de que se den escenarios secos extremos (o secos) en la fase Niño para la Vertiente Pacífico y Valle Central. Mientras que para el Caribe escenarios lluviosos son más probables (IMN-CRRH, 2008).

En el caso de la fase Niña, la probabilidad de que se den escenarios lluviosos a extremo lluviosos está entre media y alta, principalmente en la Vertiente Pacífico y Zona Norte, mientras que para la Región Caribe la condición es menos probable o deficitaria (IMN-CRRH, 2008).

*Tabla 3: Variación de la precipitación anual durante eventos ENOS.*

<b>Región Climática</b>	<b>La Niña</b>	<b>El Niño</b>
<b>PN</b>	+800mm (+46%)	-450mm (-26%)
<b>PC</b>	+1000mm (+28%)	-700mm (-26%)
<b>PS</b>	+1200mm (+34%)	-500mm (-13%)
<b>VC</b>	+1200mm (+62%)	-500mm (-23%)
<b>ZN</b>	ND	ND
<b>RC</b>	ND	+650mm (+18%)

ND: no se define. Señal no clara

Es de importancia destacar que la ausencia de una señal fuerte y consistente para las regiones sobre la costa Caribe se debe a las tendencias opuestas a la hora de balancear las contribuciones de dos diferentes procesos generativos conocidos para el país, llámense estos: ENOS, ciclones tropicales, frentes fríos, ZCIT, vientos “nortes”, norestes (alisios), oeste. Por otro lado, la vertiente Pacífico sí genera una señal fuerte particularmente para el “El Niño-Oscilación del Sur” (Waylen et al., 1995).

## 2.8 Metodología

El primer paso de este trabajo fue la escogencia de algunas estaciones donde climatológicamente se registran mayores valores de precipitación, sin importar la región del país o la época del año. Con base en estas características se escogieron seis estaciones del Instituto Costarricense de Electricidad (ICE), las cuales se observan en la tabla 4.

*Tabla 4: Estaciones meteorológicas y sus regiones.*

Número	Estación	Región	Norte/Oeste	msnm
69507	Colonia Los Ángeles	ZN	10°17'/84°12'	920
69524	Caño Negro	ZN	10°24'/84°26'	720
69604	La Montura	RC	10°07'/83°58'	1000
73036	T-Seis	RC	09°43'/83°46'	2000
92004	Naranjillo	PC	09°34'/84°02'	780
94006	Sitio Presas Savegre	PC	09°27'/83°59'	200

Para escogerlas se tomó como referencia el mapa de isoyetas del documento Balance Hídrico de Costa Rica para el periodo 1970-2002 (PHI-LAC/UNESCO, 2007). Además, se representaron en un mapa de Costa Rica con el objetivo de darles ubicación geográfica (Figura 3) y poder determinar la región climática a la que pertenecen. Esto se realizó por medio de coordenadas en el programa “GoogleEarth<sup>2</sup>” y el mapa de Regiones Climáticas del IMN (IMN-CRRH, 2008, pág. 9).

<sup>2</sup> Programa informático libre, el cual muestra el globo terráqueo y permite visualizar cartografía con base a fotos satelitales.



*Figura 3: Ubicación geográfica de las estaciones en estudio.*

El segundo paso es el análisis de los datos originales, los cuales son: la serie de *datos diarios* y la serie de *datos horarios*; ambas facilitadas por el Instituto Costarricense de Electricidad (ICE). El registro de los datos horarios para el estudio es de 9 años (2000-2008), mientras que el registro de los datos diarios es de 24 años (1985-2008). La serie de tiempo de Precipitación Pluvial Acumulada Diaria, representa la lluvia acumulada para cada día, de cada año, de cada una de las estaciones. Como son datos registrados por las estaciones, algunas de estas series vienen incompletas, por lo que se procedió a completarlas por medio de la macro desarrollada por Alfaro y Soley (2009). Esta utiliza el método auto-regresivo explicado con anterioridad en la sección 2.6, el cual es viable cuando no se tienen estaciones cercanas para el completado de los datos ausentes.

Después de completar las series de datos de las estaciones se calcularon los acumulados y promedios mensuales de cada una de ellas, de esta forma se realiza un análisis de consistencia de las series y así poder determinar si existen saltos o tendencias en los datos, lo cual puede llevar a incluir datos erróneos en el estudio. Luego, cada serie se separó en sus componentes: la tendencia, la estacionalidad y el ruido, con el fin de poder caracterizar mejor cada estación.

El siguiente paso fue el análisis de los datos horarios de las estaciones, donde se tiene la serie de tiempo de la precipitación pluvial promedio horaria; esto es, la lluvia que cae, en promedio, por hora, durante los nueve años para cada estación. Con estos datos se determina cuales son las horas de mayor probabilidad de que se dé la actividad lluviosa y el tipo de distribución que presenta cada una de ellas.

Por último, para determinar la influencia que tiene el fenómeno ENOS, se seleccionaron tres periodos Niña y Niño (definidos por la NOAA con período base 1981-2010) ocurridos durante el registro de tres de las estaciones analizadas. Con esto se calcularon las anomalías de precipitación por medio de un análisis pentadal como el realizado por Amador et al. (2000) y así poder determinar si afectan positiva o negativamente a la distribución de la precipitación. Además, ver si es posible conocer más a fondo las causas de los máximos de lluvia de tres de los registros, y poder relacionarlos con algún fenómeno o sistema que afecte el país (frentes o empujes fríos).

## CAPÍTULO 3

### ANÁLISIS DE LOS DATOS: RESULTADOS

#### 3.1 Series de datos

La serie de datos de precipitación horaria, para cada una de las estaciones, del periodo 2000 al 2008 presenta datos faltantes según se puede observar en la tabla 5. En general los porcentajes son bastante bajos para todas las estaciones, es por ello que se esperaría que a la hora de completar las series de tiempo, la variabilidad o error generado por el método a usar sea bajo.

*Tabla 5. Cantidad y Porcentaje de Datos Faltantes.*

Número de Estación	Nombre de Estación	Cantidad de datos faltantes	Porcentaje de dato faltante
<b>1-</b> 69507	Colonia Los Ángeles	63	1.7
<b>2-</b> 69524	Caño Negro	39	1.1
<b>3-</b> 69604	La Montura	202	5.5
<b>4-</b> 73036	T-Seis	275	7.5
<b>5-</b> 92004	Naranjillo	32	0.9
<b>6-</b> 94006	Sitio Presas Savegre	72	2.0

Al completar la serie de datos, se calcula los acumulados mensuales de precipitación, de cada estación para cada uno de los nueve años. Al revisar los gráficos obtenidos (Anexo 1.1), se observa que cuatro de las estaciones presentan datos homogéneos, o sea sin saltos o variaciones significativas; estas son Colonia L. Ángeles, Caño Negro, Naranjillo y S.P. Savegre, las cuales a su vez son de las que presentan menos datos faltantes (Tabla 5).

Por otro lado las estaciones La Montura y T-Seis (Tabla 5), presentan la mayor cantidad de datos faltantes, esta puede ser una de las razones por lo que se altera su homogeneidad. Para analizar estas irregularidades en las series se procede a realizar el Análisis de Doble Masa, donde se procede a calcular la precipitación acumulada anual y la precipitación ponderada acumulada de cada estación en un registro veinticuatro años.

En la tabla A1.2 del Anexo 1 se pueden observar los acumulados anuales para tres de las estaciones con registros de 24 años que se considerarán mas adelante.

En la figura A1.2 se observa la existencia de un cambio de pendiente (o salto) para la estación 69604-La Montura, no siendo el caso para la estación 73036-T-Seis, en la cual se observa que todos sus valores se ajustan a una sola linea. Para el caso de la estación 69604-La Montura, los datos se agrupan en dos periodos y se calcula las pendientes de cada uno de ellos. Tomando como valor teórico la pendiente del periodo  $Y_I$ , se observa que el cambio entre ellas es de solo 0.03%, lo cual no es significativo y por ende los registros se consideran confiables.

Otras de las razones por las que se pueden presentar estas variaciones son las relacionadas a fenómenos de escala sinóptica. Por ejemplo, las estaciones Colonia L. Ángeles y La Montura, que son de la ZN y RC, dan un pico para el mes de noviembre del 2008 (Figuras A1.1.1 y A1.1.3) , pero esto, según el Resumen Meteorológico de este mes, se debió a que: “Del 18 hasta el 27 de noviembre la vertiente caribeña del país se vio afectada por un frente frío y por un sistema de baja presión atmosférica provocando un temporal que se extendió por más de una semana, generando precipitaciones de 682.7 mm en la parte central de Limón, así como inundaciones en la zona” (IMN-2008)<sup>3</sup>. Lo anterior también explica como la estación de T-Seis (Figura A1.1.4) presenta valores medios altos para casi todo el año 2008, además de que “julio presentó condiciones muy lluviosas en todo el país. Tanto el Pacífico como la Zona Norte y el Valle Central presentaron escenarios lluviosos extremos; la mayor parte de la Región Caribe registró más lluvias que las normales” (IMN-2008).

Otro detalle importante que se observa en las series de acumulados mensuales (Anexo 1.1), son las diferentes distribuciones de precipitación que caracterizan las regiones. Por ejemplo las primeras cuatro son irregulares y características de la ZN y RC. Mientras que las dos últimas presentan la distribución típica bimodal de la Vertiente Pacífico.

---

<sup>3</sup> Resumen Meteorológico para el año 2008, realizado por el Instituto Meteorológico Nacional.  
[http://www.imn.ac.cr/boletin\\_meteo/historial%20boletines.html](http://www.imn.ac.cr/boletin_meteo/historial%20boletines.html)

### 3.2 Tendencias

El análisis de las tendencias de cada una de las estaciones revela que para Colonia L. Ángeles y Caño Negro (Anexo 1.3) pertenecientes a la ZN, no presentan una tendencia ya sea al aumento o a la disminución, pues sus pendientes son de valores muy bajos (0.67 y -0.34 respectivamente). Las estaciones de La Montura y T-Seis, ambas de la RC, presentan la característica de una leve tendencia al aumento; con pendientes de 2.96 y de 1.96 respectivamente. Las últimas estaciones pertenecen al PC y también presentan una leve tendencia al aumento, con pendientes positivas de 2.55 para Naranjillo y de 1.82 para Sitio P. Savegre.

Este tipo de tendencias que presentan las diferentes regiones donde se encuentran las estaciones, concuerdan con los estudios realizados en el documento del IMN de *“Clima, Variabilidad y Cambio Climático en CR (2008)”*, donde se destaca que la precipitación tiende a disminuir para algunas regiones (cercanas a la Cordillera Central) del lado de la ZN, y por otro lado, la tendencia es del aumento para las regiones RC y PC; que fue lo que se denotó en las tendencias de las estaciones en estudio. Además, se nota una relación entre las anomalías de precipitación para estas dos últimas regiones, donde la comparación entre el periodo de 1961-1990 y 1991-2005 da anomalías positivas (color celeste y azul en figura 4), o sea, una tendencia al aumento. Por otro lado, los colores de rojo y rosado en la figura 4, representan una tendencia al déficit o disminución de precipitación en los últimos 15 años.



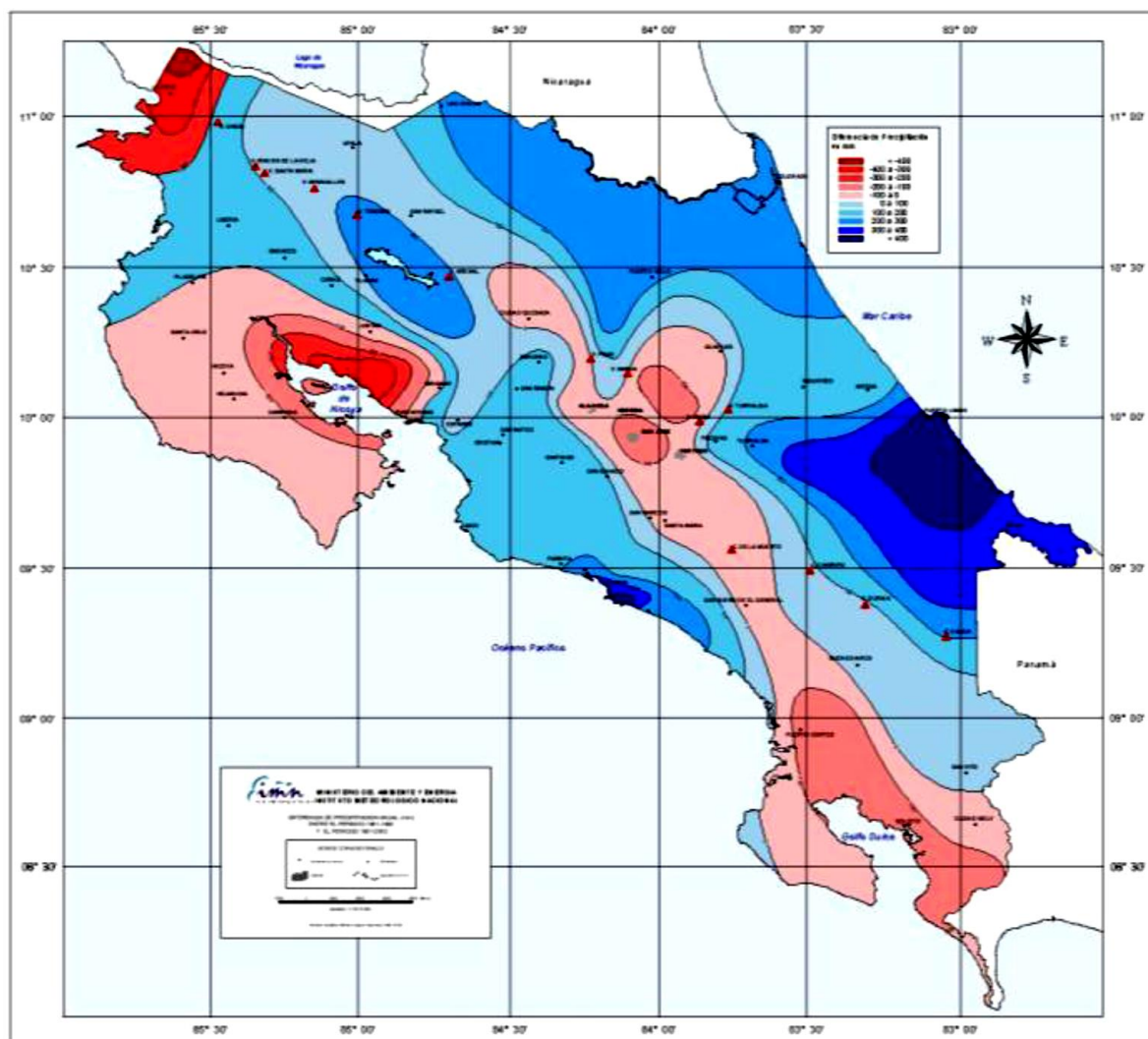


Figura 4. Anomalía de precipitación anual. Comparación entre periodo 1961-1990 y 1991-2005. (Fuente: *Clima, Variabilidad y Cambio Climático en CR*. IMN-CRRH, 2008).

### 3.3 Estacionalidad

Para conocer las contribuciones porcentuales que se dan a lo largo del año en cada una de las estaciones, se observa la estacionalidad de cada una de ellas, las cuales son como una especie de rasgo general a respetar en cada año por la estación. Estas gráficas se encuentran en el Anexo 1.4, presentando las siguientes características:

Las estaciones de Colonia L. Ángeles, Caño Negro y La Montura presentan sus mayores índices, con valores entre los 0.4 y 0.6 durante fin y principio de año (noviembre - enero). Lo que indica que cerca del 40% al 60% de la precipitación anual cae sobre la estación durante estos meses. Luego se da otro aumento para el mes de julio, con un índice superior a 0.4 (40%) especialmente en Colonia L. Ángeles y La Montura;

mientras que para Caño Negro es cerca de 0.2 (20%). Por otro lado, entre el 40% y 60% de la precipitación anual es deficitaria entre los meses de febrero a abril.

La estación T-Seis es diferente a las anteriores en cuanto a las contribuciones de precipitación a lo largo del año, pues los mayores índices se presentan para los meses de mayo con 0.3 (30%), julio-agosto con 0.2 (20%) y noviembre con un índice de cerca de 0.3 (30%). Además, se observa que la precipitación es más persistente a lo largo del año excepto para los meses de febrero, marzo y abril, que se pueden catalogar como un periodo relativamente seco para la estación. Una de las razones es por la ubicación geográfica y altura de la estación (Figura 3), donde se observa que está inmersa a barlovento del sistema montañoso a una altura de 2000 m.

Las dos últimas estaciones, Naranjillo y S.P.Savegre, presentan distribuciones de índices estacionales de forma bimodal. Para Naranjillo los máximos se presentan en mayo donde alrededor del 60% de lluvia anual se presenta en este mes; y el otro se da en el mes de octubre, donde la cantidad de precipitación puede ser cercana al 80%. Una disminución (veranillo) de las precipitaciones se da entre los meses de julio y agosto, reduciéndose cerca del 20% las mismas.

Para la estación de S.P.Savegre los valores cambian. El máximo de mayo tiene un índice de 0.4 (40%) y el otro máximo se adelanta al mes de setiembre con un valor cercano al uno, o sea, que en promedio, cerca del 100% de toda la lluvia puede caer en este mes. Para esta última se puede recalcar que para junio se reducen las precipitaciones hasta llegar a un 5%. Las estaciones seca y lluviosa están bien marcadas para ambas estaciones (fin y principio de año).

### **3.4 Anomalía de los registros**

Al tomar las series de datos para extraerles la tendencia y la estacionalidad, se puede observar mejor los eventos irregulares y aleatorios más relevantes que contribuyeron durante el periodo de registro de las estaciones; esto en una nueva serie de anomalías que se encuentran en el Anexo 1.5. Algunas características se detallan a continuación:

La estación Colonia L. Ángeles presenta déficit de 700 mm (año 2002) y superávit de hasta 1100 mm (2008), concordando con los valores para eventos extremos secos y extremos lluviosos registrados para la Zona Norte. También para la estación Caño Negro se presentan ganancias y pérdidas dentro del rango normal, aunque los primeros cinco años (2000-2004) se presentan con más frecuencia valores positivos de registros pluviométricos (a excepción del año 2002).

Las estaciones correspondientes a la Región Caribe se encuentran en el rango normal, lo más relevante es en La Montura donde se presenta un superávit de 1500 mm (2008), comentado con anterioridad en relación a los frentes fríos en esta región. Para T-Seis se observa un pequeño rasgo, el cual es que durante los meses 60 a 96 (años 2005 a 2007), existe la tendencia a ser años deficitarios.

Las gráficas de las estaciones del Pacífico Central (S.P. Savegre y Naranjillo) presentan sus valores positivos y negativos dentro de los valores de -600 mm a +500 mm, estando dentro del intervalo de variación para esta región.

Es importante mencionar que según Alfaro y Perez-Briceño (2014), la ocurrencia de impactos por frentes fríos se vió favorecida para las regiones de la ZN y RC de los años 2007 a 2008, lo cual se refleja en estas estaciones durante el periodo analizado; mientras que entre los años 2006 a 2007 la ocurrencia de impactos, en lo que se refiere a ondas del este y ciclones tropicales, se vio muy reducida; lo cual se notó en las estaciones del T-Seis y Naranjillo (levemente) de forma respectiva. Para el año 2002 no se registran ocurrencias de impactos por ondas del este ni por frentes fríos, por lo cual las estaciones de la ZN presentan déficit en cuanto a las precipitaciones.

### **3.5 Distribución de la precipitación horaria**

Con los datos horarios de precipitación de cada mes se procedió a calcular y graficar los acumulados de cada hora; colocando las horas en función de los meses para cada una de las seis estaciones se obtuvieron distribuciones horarias como las que se observan en la figura 5 a la 10, en las que se puede determinar las horas más probables en las que se puede presentar la actividad lluviosa para estos máximos de precipitación en el país. La tabla 6 muestra un resumen de los resultados de las gráficas de distribución horaria,

mientras que en el anexo 3 se presenta la precipitación acumulada promedio para el periodo 2000-2008 de cada una de las estaciones.

Para tomar un valor como máximo de precipitación, se decide que será el valor entre el rango generado por los valores superiores al *percentil 95* ( $P_{95}$ ) de la distribución de cada una de las estaciones; esto porque según IMN-DMSA (2013) los valores están dentro del rango de precipitaciones: muy fuertes y torrenciales. Los valores de estos se muestran en la tabla 6 como “*Lluvia Máxima*”.

Se puede notar que el rango de horas para esta lluvia máxima es desde las 13:00 horas a las 17:00 horas (1pm - 5pm), con la excepción de la estación Caño Negro (ZN) donde la probabilidad de sus máximos es más hacia el final de la tarde y primeras horas de la noche; (entre las 14:30 horas hasta las 19:30 horas (2:30pm - 7:30pm)) y Naranjillo (PC) donde la probabilidad inicia hacia las primeras horas de la tarde (entre las 12:00 horas hasta las 16:30 horas (12md - 4:30pm)). Lo anterior es debido a la inestabilidad sobre la estación Caño Negro, donde convección o precipitación convectiva formada en la vertiente pacífico también se presenta en la ZN, denotado en la existencia de dos leves máximos de precipitación para junio y setiembre (Figura 6); mientras que para el caso de la estación Naranjillo (Figura 9) se debe a que la interacción, y por ende formación, de convección producto de la brisa marina y flujo perpendicular, que genera chubascos y tormentas primero al nivel de media montaña generalizándose luego a niveles más bajos.

Además, un rasgo importante para las estaciones de la ZN, es que las precipitaciones se dan primero en la estación que se encuentra más hacia la costa caribeña o hacia el este (C. L. Ángeles) que está a una altura del 920 msnm (Tabla 4). Al estar posicionada a barlovento (al Norte del volcán Poás), presenta una probabilidad de que se dé un máximo superior a los 60 mm/h alrededor de las 12:00md (Figura 5); posteriormente la probabilidad se desplaza entre las 13:00 y 17:00 horas (1pm y 5pm). Dos horas después (14:30 - 19:30) es que se presenta en la estación Caño Negro (720 msnm) como se observa en la figura 6 y resumido en la tabla 6, ubicada más al noroeste de la anterior (Figura 3).

Los valores máximos horarios, superiores al  $P_{95}$ , presentan valores mayores para las estaciones de las regiones de PC y RC. Los valores están entre los 92.5 mm/h hasta los

183.1 mm/h; mientras que los pertenecientes a la ZN están entre 48.6 mm/h hasta los 78.6 mm/h (Tabla 6). Esto, analizando las distribuciones de lluvia a lo largo del día, se debe a que en estas de la ZN, por su posición geográfica e interacción directa con los vientos alisios, es más probable que se generen lluvias a cualquier hora del día (por ende bajando la probabilidad de tener un máximo a una hora en específico) que en las estaciones del PC y RC, donde la lluvia es más compacta o con menos dispersión horaria, además de estar sobre las cordilleras más altas del país que favorecen los ascensos orográficos y profundidad en la convección.

*Tabla 6: Precipitación acumulada horaria máxima de cada estación. (Valores mensuales).*

<b>Máximos de lluvia más probables. Precipitación Acumulada Horaria</b>				
<b>Región</b>	<b>Estación</b>	<b>Horas</b>	<b>Lluvia Max (mm/h)</b>	<b>Meses</b>
ZN	<i>C. Los Ángeles</i>	12:00, 13:00 - 17:00	61.8 – 78.2	De: Mediados Abril - Setiembre
	<i>Caño Negro</i>	14:30 - 18:30	48.6 – 69.6	De: Mediados Mayo – Setiembre
RC	<i>La Montura</i>	13:00 - 17:00	92.5 – 155.7	De: Mediados Abril – Mediados Set y Nov
	<i>T-Seis</i>	13:00 - 17:00	101.5 – 125.9	De: Mediados Abril – Octubre
PC	<i>Naranjillo</i>	12:00 - 16:30	123.6 – 183.1	Abril – Octubre
	<i>Sitio P Savegre</i>	13:00 - 16:00	106.6 – 167.4	De: Mediados Abril – Octubre

Considerando como significativos montos de precipitación orográfica y estratificada de valores superiores a los 20 mm/hora; la influencia de los frentes fríos a estos máximos de precipitación se observa en las distribuciones horario-mensual de las estaciones de Caño Negro, Colonia L. Ángeles y La Montura con valores entre los 20 mm/h hasta los 50 mm/h (Figuras 5, 6 y 7); esto desde noviembre hasta la primera semana de febrero. Las horas en que estos afectan la estación más al oeste de la ZN (Caño Negro) son a dos secciones: entre las 00am – 9:30am y luego de 2pm a 9pm. Por otro lado, para el caso de la otra estación de la ZN (Colonia L. Ángeles) y la de RC más al Norte (La Montura), no existe el receso cercano a medio día como en la anterior, sino que valores superiores a 20 mm/h se presentan durante todo el día para el mes de noviembre y diciembre inclusive. En cuanto a la otra estación T-Seis de la RC (Figura 8), esta solo presenta

valores superiores a 20 mm/h solo para el mes de noviembre, denotando la mayor sensibilidad que existe hacia los frentes fríos para las estaciones de la Región Caribe Norte que las del Caribe Sur (Alfaro y Perez-Briceño, 2014).

Es importante mencionar que, según la posición mensual de los máximos horarios para las estaciones de la Zona Norte (Figuras 5 y 6), los empujes (o frentes) fríos no influyen en la generación de estos (Tabla 6), pues una frecuencia de estos, como mínimo del 50%, se da entre noviembre y marzo (IMN-CRRH, 2008). Mientras que para las localizadas en la RC presentan una pequeña influencia alrededor de las 22:00 horas (4pm) para el mes de noviembre, esto debido no solo a que los empujes (o frentes) fríos presentan más interacción sobre la RC sino también porque, a medida que la presión disminuye durante el día en la cuenca del Caribe hacia horas de la tarde, la actividad lluviosa deja de ser solo orográfica pasando a ser más estratificada, alcanzando regiones más altas como el caso de la estación 73036-T-Seis a 6400 pies de altura aproximadamente.

Para las estaciones del PC, los meses en que es más probable que se den valores máximos de lluvia horaria superiores al  $P_{95}$  son: mayo y entre setiembre-octubre (Figuras 9 y 10); precisamente son los meses en que sobre el país la cortante vertical disminuye alcanzando su menores valores, lo cual favorece en gran medida la convección (Alvarado y Fernández, 2001a).

Lo discutido anteriormente concuerda con lo reportado por Rapp et al. (2014), donde por medio de un estudio climatológico satelital (TRMM PR<sup>4</sup>) de las tormentas en Costa Rica para cuatro subdivisiones dadas por estos autores, durante el periodo 1998-2012, concluyen que para regiones centrales del país (como la posición de las estaciones de la ZN y RC del presente estudio) se presenta una gran influencia en los montos de precipitación para los meses de junio a noviembre (con énfasis en agosto) por la interacción de Jet de Bajo Nivel del Caribe. Por otro lado, para regiones del suroeste del país (estaciones del PC de este trabajo), Rapp et al (2014) concluyen que de mayo a octubre es donde se registran los mayores volúmenes totales de precipitación por tormentas. Por otro lado dicen además que la frecuencia relativa de tormentas aumenta entre las 12:00 y 20:00 horas para todas las regiones estudiadas.

---

<sup>4</sup> Medición de Lluvias Tropicales Misión Radar de Precipitación, NASA.

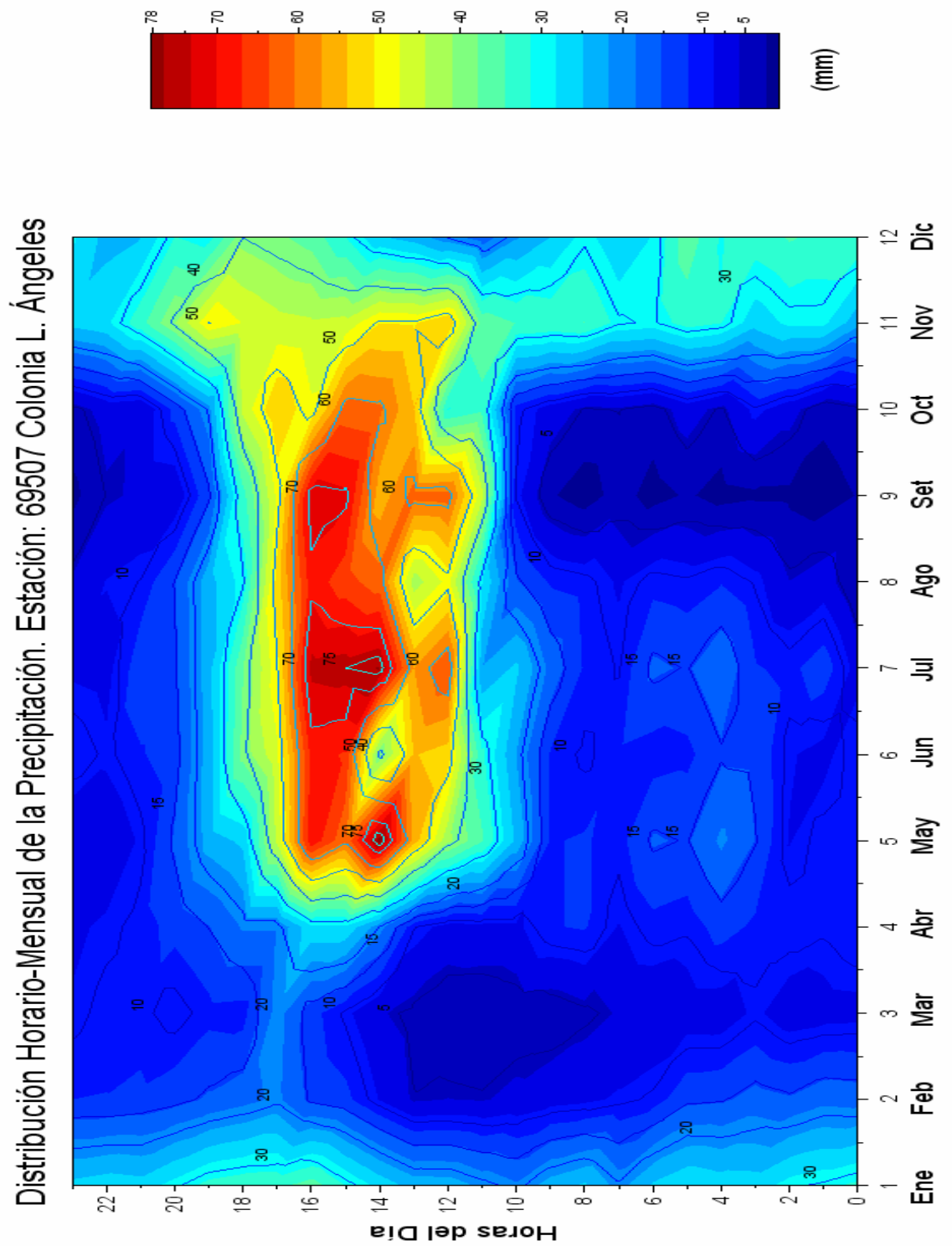


Figura 5: Distribuciones Horario-Mensual. Estación Colonia L. Angeles (Zona Norte).

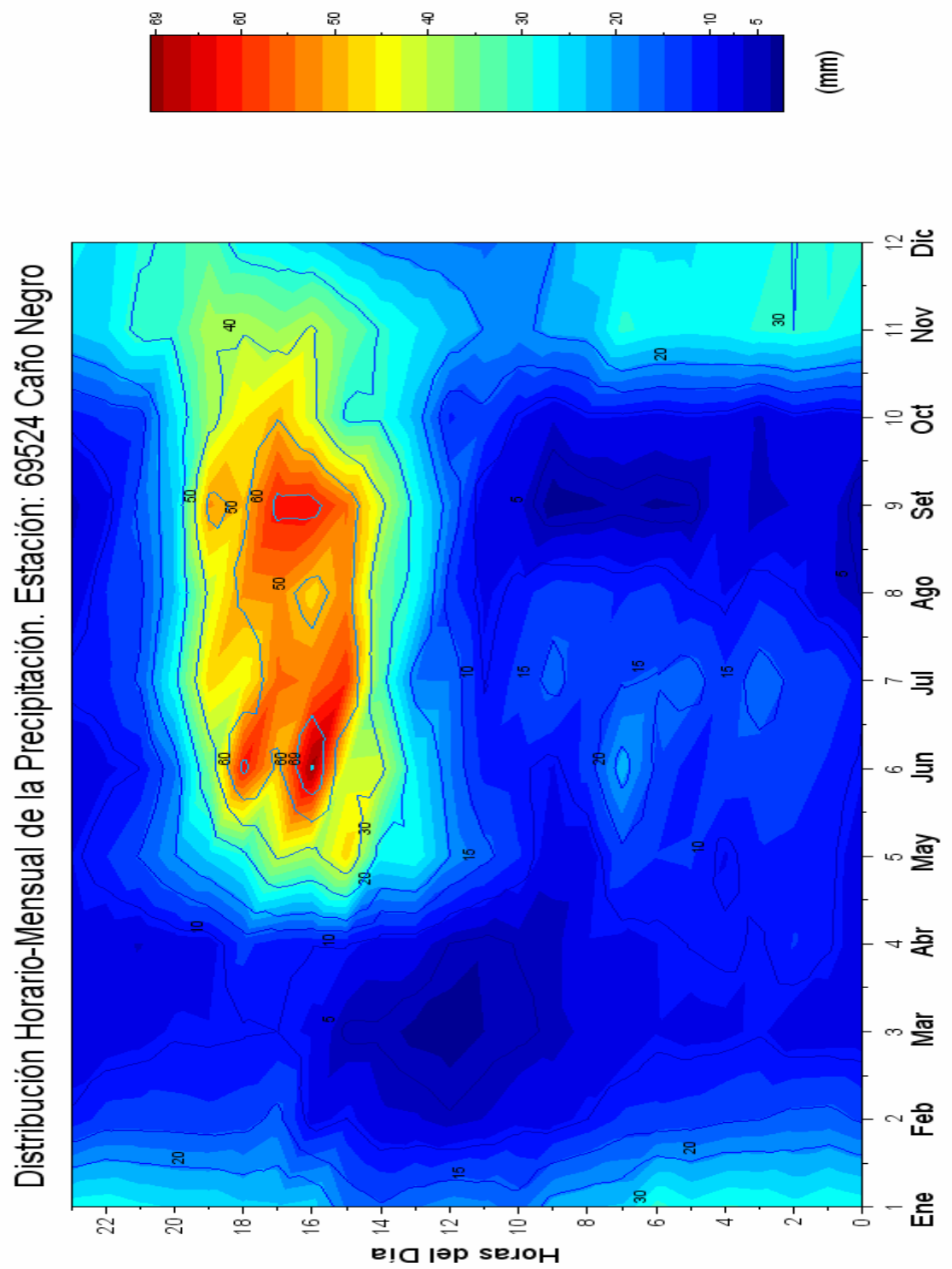


Figura 6: Distribución Horaria-Mensual. Estación: Caño Negro (Zona Norte).



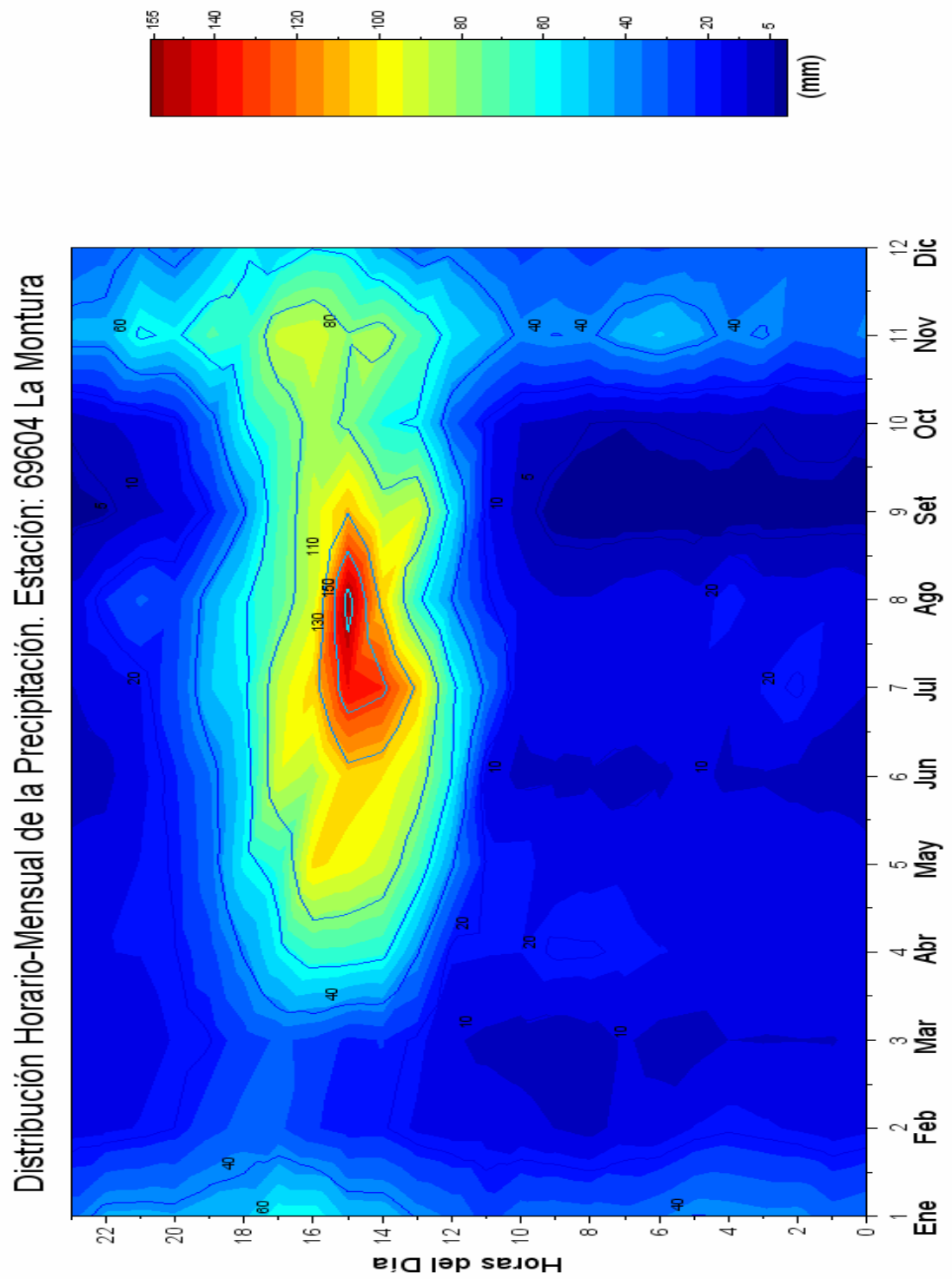


Figura 7: Distribución Horaria-Mensual. Estación: La Montura (Región Caribe).

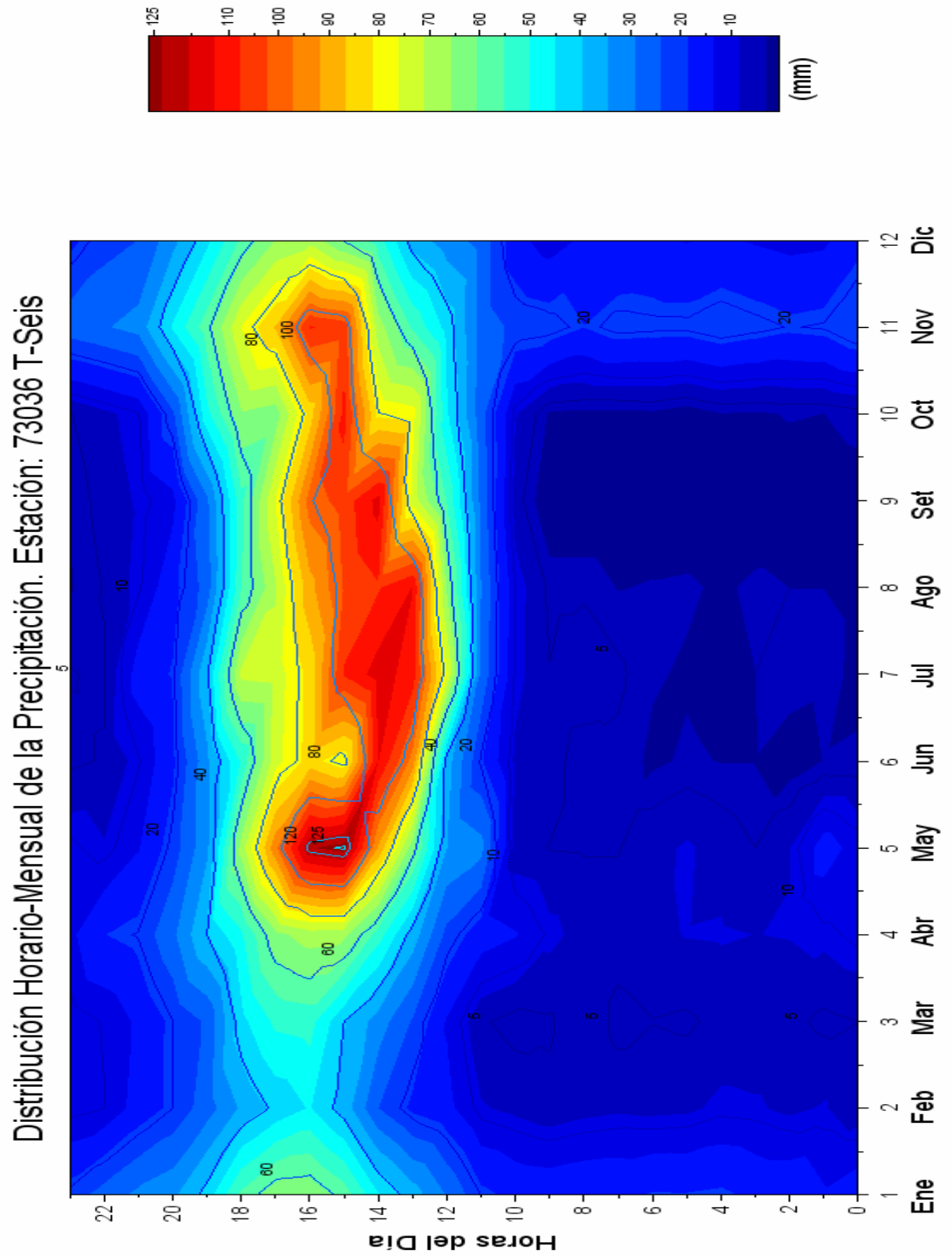


Figura 8: Distribución Horaria-Mensual. Estación: T-Seis (Región Caribe).

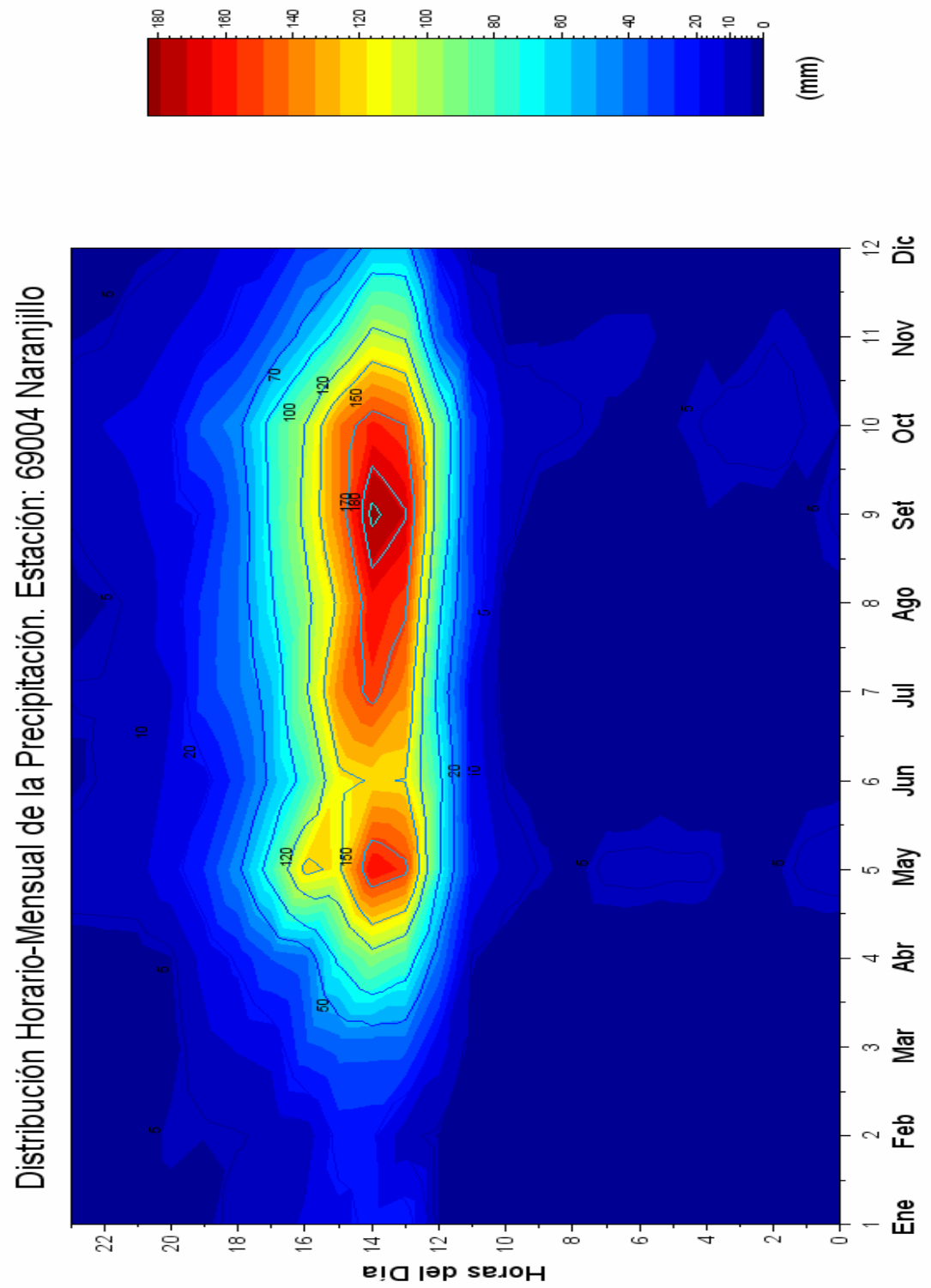


Figura 9: Distribución Horaria-Mensual. Estación: Naranjillo (Pacífico Central).

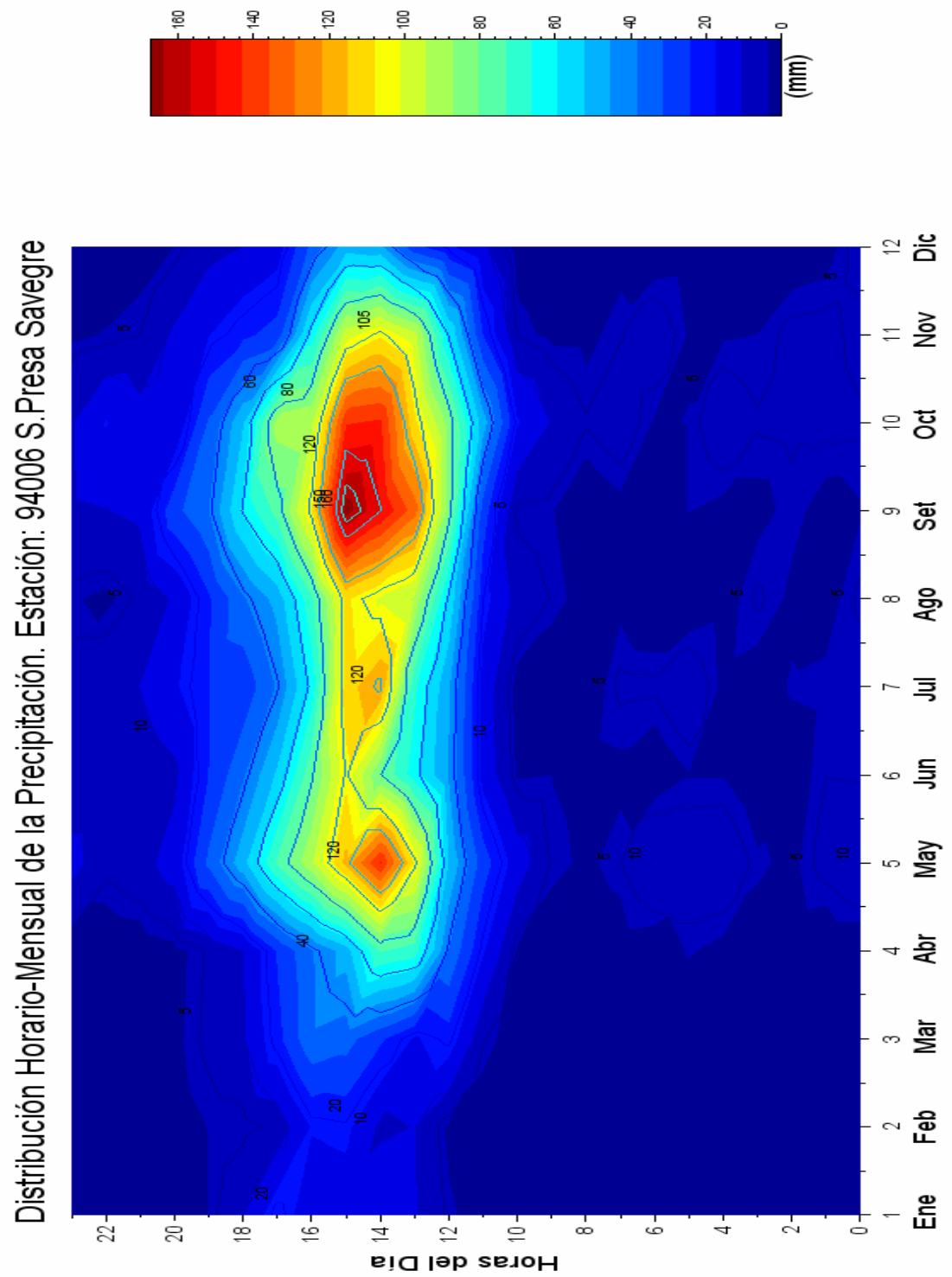


Figura 10: Distribución Horaria-Mensual. Estación: S.P. Savegre (Pacífico Central).

### 3.6 Efectos indirectos del ENOS

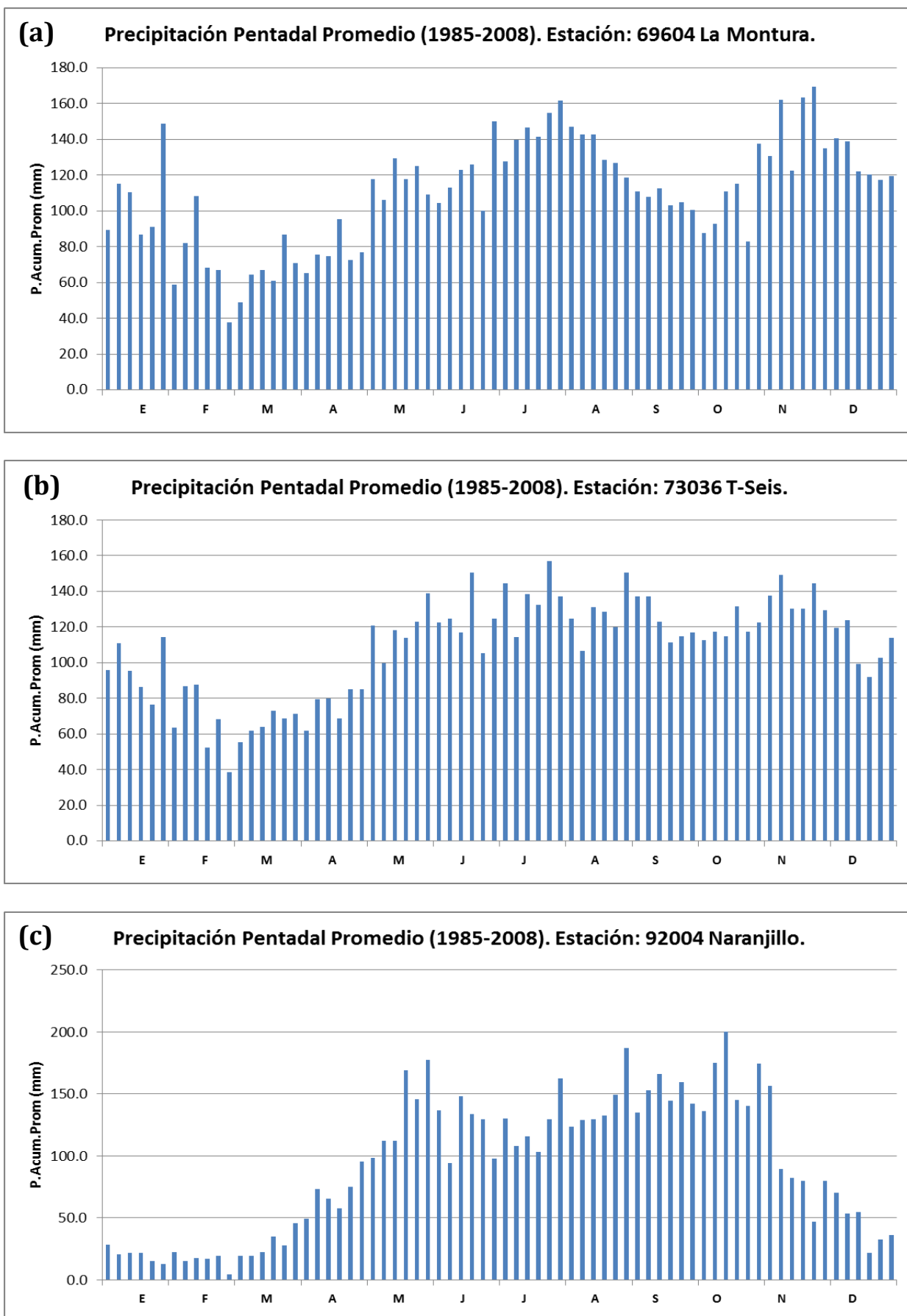
Al analizar los datos y poder determinar la influencia de esta oscilación océano-atmosférica sobre la precipitación de tres de las estaciones, se toma en cuenta la probabilidad de ocurrencia del escenario climático de mejor señal (influencia) en cada una de sus fases. Los escenarios para ambas fases son: *seco extremo*, *seco*, *normal*, *lluvioso*, *lluvioso extremo*, mientras que las probabilidades son: *Alta*, *Media* y *Baja*; siendo significativas para este estudio probabilidades de *Media* a *Alta*, según lo reportado por Retana y Villalobos (2000).

Según lo recopilado en el documento “Clima, Variabilidad y Cambio Climático en CR” del IMN (2008), en la Zona Norte (ZN) la señal del ENOS no está definida (ND) de forma clara para el caso del evento Niño o fase cálida, o sea, la probabilidad de que con el fenómeno dé aumento o disminución de precipitación puede ser la misma. Mientras que para el evento Niña o fase fría, el escenario más probable es el lluvioso, aunque no se establezca un porcentaje de ello.

La Región Caribe (RC) presenta en el evento Niño una alta probabilidad de escenarios lluviosos extremos, o sea que la precipitación aumente más de lo normal (+650 mm (+18%), Tabla 3). Para la fase fría (Niña) son probables escenarios secos o de menos precipitación (montos no definidos) (IMN-CRRH, 2008).

Por último, la región Pacífico Central (PC), en el evento Niño, los escenarios más probables son el seco extremo y el seco (-700 mm (-26%), Tabla 3); mientras que durante eventos Niña, son factibles escenarios lluviosos extremos (+1000 mm (+28%), Tabla 3) (IMN-CRRH, 2008).

En la figura 11 se presenta la distribución pentadal promedio de las estaciones: La Montura (RC), T-Seis (RC) y Naranjillo (PC). Se puede observar que sus máximos pentadales se presentan en los meses de julio y noviembre para las estaciones de la RC; más específicamente la sexta péntada de julio (161.5 mm) y la quinta de noviembre (mayor a 162 mm hasta los 169 mm) para La Montura; la quinta péntada de julio (157 mm) y la segunda de noviembre (149 mm) para T-Seis (Figura 11 (a) y (b)). Mientras que para la estación Naranjillo del PC se presentan en la sexta de mayo (177.5 mm) junto con la tercera péntada de octubre (200 mm) (Figura 11 (c) ).



*Figura 11: Distribución pentadal promedio para tres de las estaciones en estudio.  
Periodo 1985 - 2008.*

En cuanto a la péntada del año con menos precipitación promedio, para cada una de las tres estaciones de la figura 11, se presenta en la sexta péntada del mes de febrero. Los valores de esta son: 37 mm (La Montura), 38 mm (T-Seis) y de tan solo 4.3 mm (Naranjillo).

En el periodo de registro de 1985 hasta el 2008, la oscilación presentó las fases que se observan en la tabla A2.1 del Anexo 2, donde para efectos de nuestro estudio se tomarán los siguientes periodos a analizar: Niños de los años: 1986-88, 1991-92, 1997-98; y los periodos Niña de: 1988-89, 1998-2001, 2007-08.

Para estudiar esto se grafica la precipitación pentadal promedio acumulada en cada una de las estaciones para los periodos escogidos, como se observan en la figura 12 a la 19. En las tablas 7 y 8 se sintetizan los resultados de los acumulados pentadales para cada periodo, además de sus correspondientes anomalías.

### 3.6.1 EVENTOS NIÑOS

a. –Setiembre 1986 a Enero 1988.

Según el análisis de intensidad<sup>5</sup> basado en el  ndice Oceánico del Niño que se observa en la figura A2.1 (ONI, por sus siglas en inglés), este evento presentó intensidad moderada hacia el inicio del periodo, pasando a intensidad fuerte (durante un corto periodo) hacia el final del mismo (Figura A2.1). Al analizar los acumulados pentadales del periodo y los promedios, se observa como para las tres estaciones los valores promedio son mayores, prácticamente durante todo el periodo, que los registrados para el periodo del evento (Figura 12). En ambas estaciones de la RC se presentó déficit de 11% con respecto al promedio.

Lo anterior es contrario de lo esperado sobre la señal de la fase cálida del ENOS en la región Caribe (Tabla 3). No es el caso para la estación del PC donde esta sí genera déficit de 1572 mm (-17%) en la precipitación como se observa en la tabla 7.

---

<sup>5</sup> Fuente: NOAA, National Weather Service. Climate Prediction Center.

b. –Mayo 1991 a Junio 1992.

Periodo catalogado como Niño moderado, presentando acumulados pentadales promedio levemente superiores al acumulado pentadal del evento (Figura 13 y Tabla 7) en los primeros ocho meses del periodo. Las anomalías negativas corresponden al 12% y 9% para las estaciones de La Montura y T-Seis respectivamente. Para el caso de la estación del PC (Naranjillo) la señal es clara; los acumulados del evento siempre inferiores a los del promedio con anomalías negativas de 1190 mm (-15%).

Se observa en los valores de la tabla 7, que las anomalías negativas son inferiores para este evento comparado con el de 86-88, que como rasgo relevante tuvo unos meses de fuerte intensidad.

c. –Mayo 1997 a Abril 1998.

Considerado un evento de fuerte a extrema intensidad, se puede observar en los trazos de la figura 14 como para las estaciones de La Montura y T-Seis de la RC los acumulados pentadales para el evento son superiores a los acumulados promedios, generando superávit en la precipitación (principalmente los primeros nueve meses con anomalías positivas de 8% y 9% respectivamente), corroborando lo mencionado en cuanto a variaciones de precipitación anual para los eventos ENOS (Tabla 3). Lo anterior no se ve tan marcado para los tres últimos meses (febrero, marzo y abril) donde ambas curvas se igualan en sus valores (Figura 14 (a) y (b)), lo cual es lógico debido a la estabilidad de la atmósfera durante esos meses, aunado a las condiciones que genera una fase cálida fuerte del ENOS.

En cuanto a la estación Naranjillo su registro muestra, conforme avanza el periodo, déficit de hasta 1572 mm, lo que corresponde a 24% menos con respecto al promedio (Tabla 7). Comparando estos valores con los alcanzados para el evento de los años 1986-88, se nota que ambos son los más altos entre los tres donde, al igual que este evento, alcanzó a ser de intensidades considerables.



### 3.6.2 EVENTOS NIÑAS

a. –Mayo 1988 a Abril 1989.

La figura 15 muestra claramente la señal de la fase fría del ENOS para las estaciones La Montura y T-Seis, donde se registran anomalías negativas de 1243 mm (-16%) y 396 mm (-5%) (para el final del periodo) respectivamente; por otro lado Naranjillo (PC) presenta registros anómalos positivos de 11% (748 mm, Tabla 8).

El evento fue nombrado como de fuerte intensidad durante la mayoría de los 12 meses que duró.

b. –Agosto 1998 a Enero 2001.

Niña de moderada a débil intensidad con un periodo de vigencia (dos años y nueve meses) en donde la señal sobre las estaciones de la RC no es muy clara sino hasta el final del periodo (último año) con acumulados de precipitación pentadales del evento mayores, lo que corresponde a +6% en La Montura y a +5% para T-Seis sobre los valores promedio (Figura 16 y 17).

Para el caso de la estación sobre el PC, siempre se generaron registros positivos durante todo el evento (Figura 18), aunque los valores entre ambos acumulados al final del periodo no difieren en mucho (+3%). Se puede observar que la curva del acumulado del periodo de la figura 18 se acerca más a la del promedio solo para el último mes de transición (noviembre) como rasgo característico.

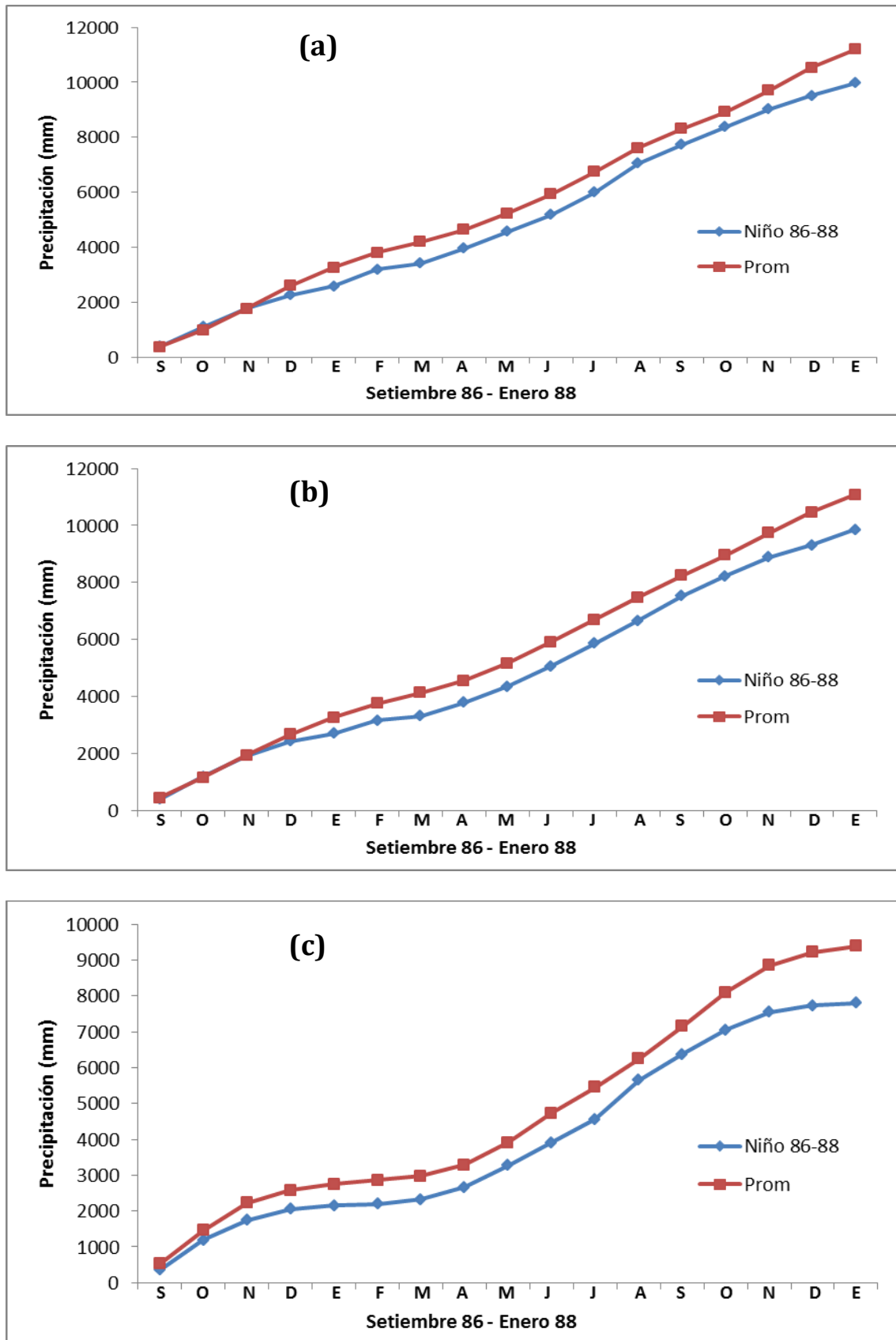


Figura 12: Análisis de la precipitación pentadal promedio acumulada en la estación (a) La Montura, (b) T-Seis, (c) Naranjillo. Periodo Niño 1986-88.

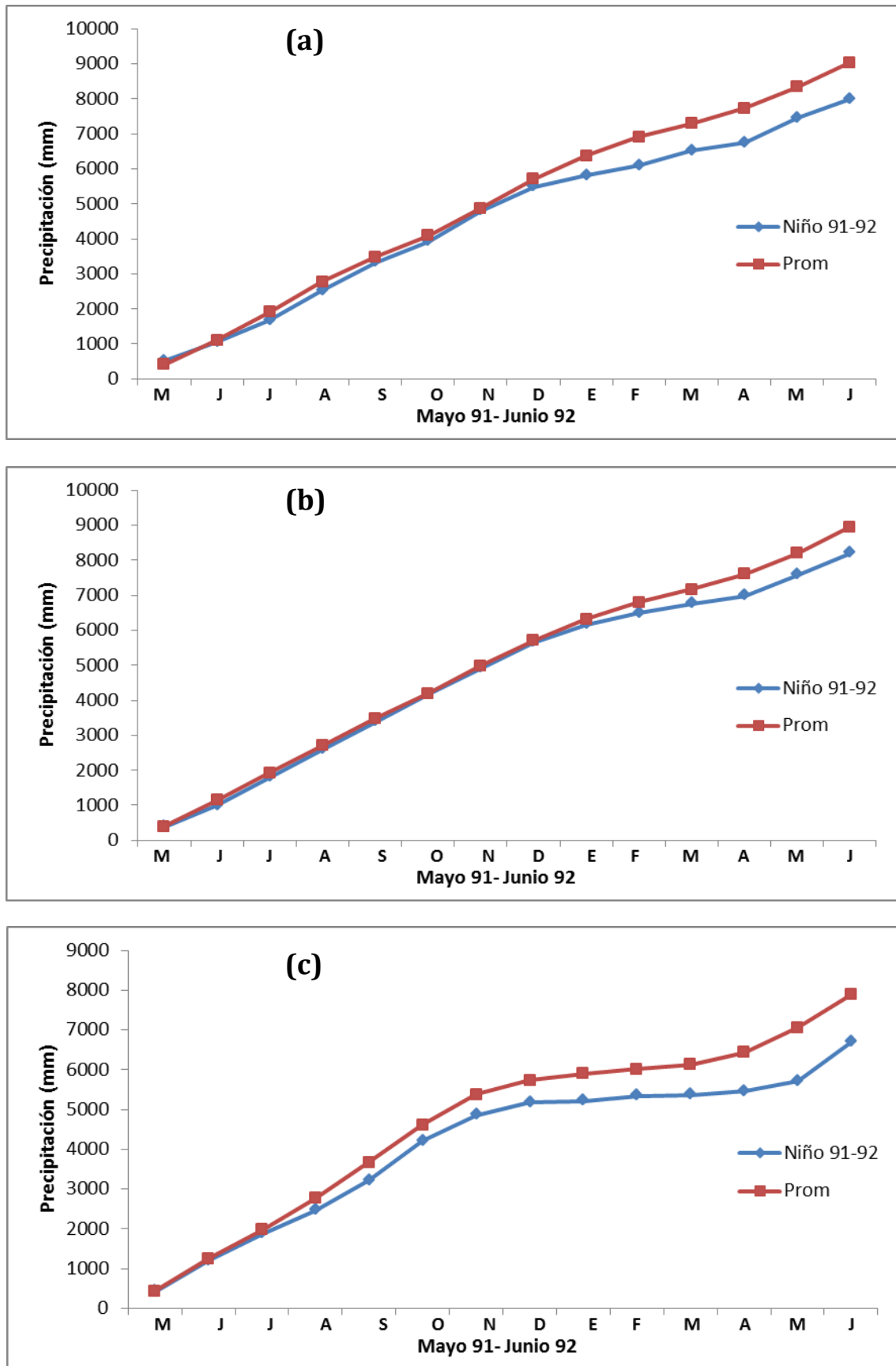


Figura 13: Análisis de la precipitación pentadal promedio acumulada en la estación (a) La Montura, (b) T-Seis, (c) Naranjillo. Periodo Niño 1991-92.

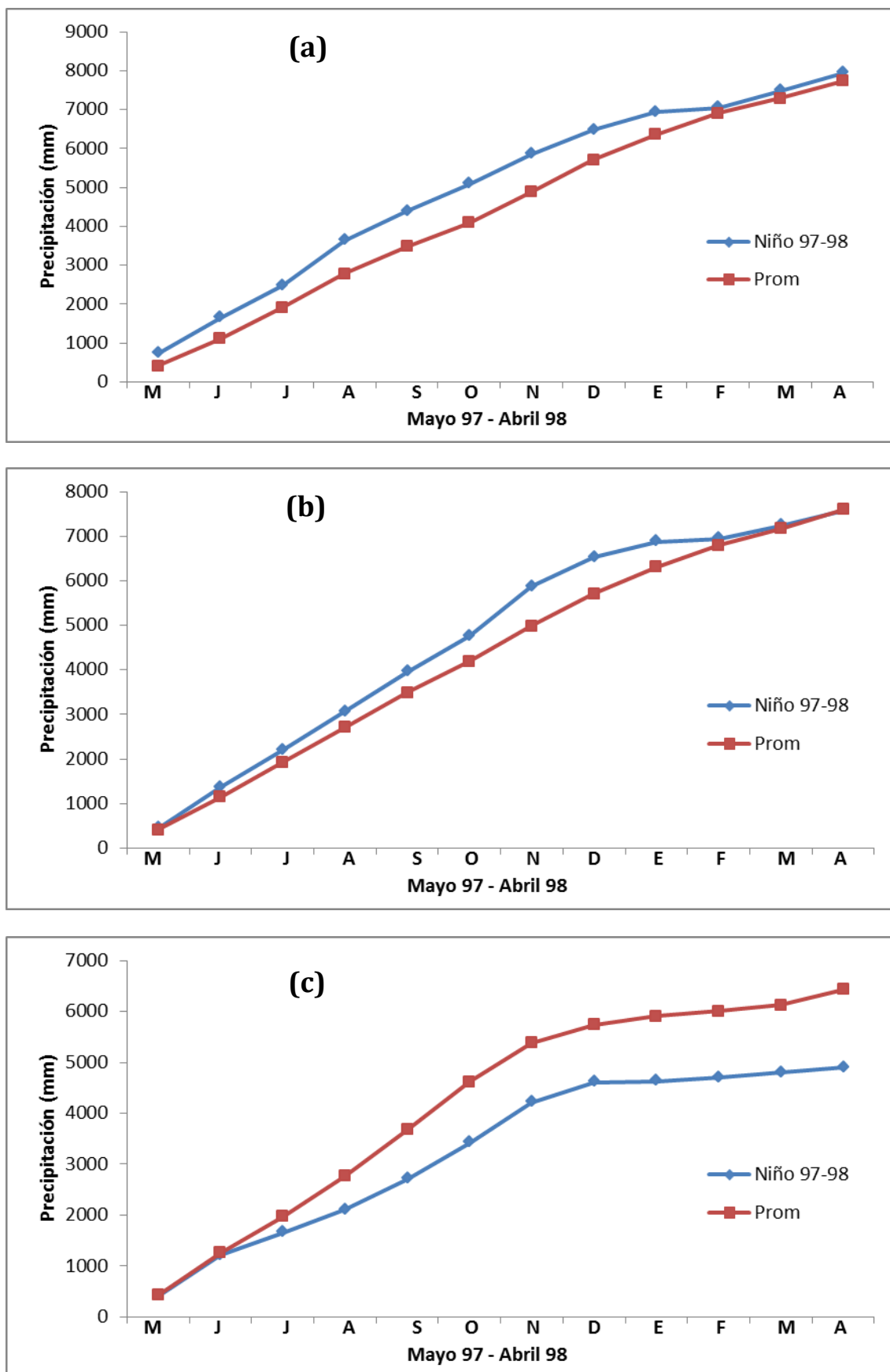


Figura 14: Análisis de la precipitación pentadal promedio acumulada en la estación (a) La Montura, (b) T-Seis, (c) Naranjillo. Periodo Niño 1997-98.

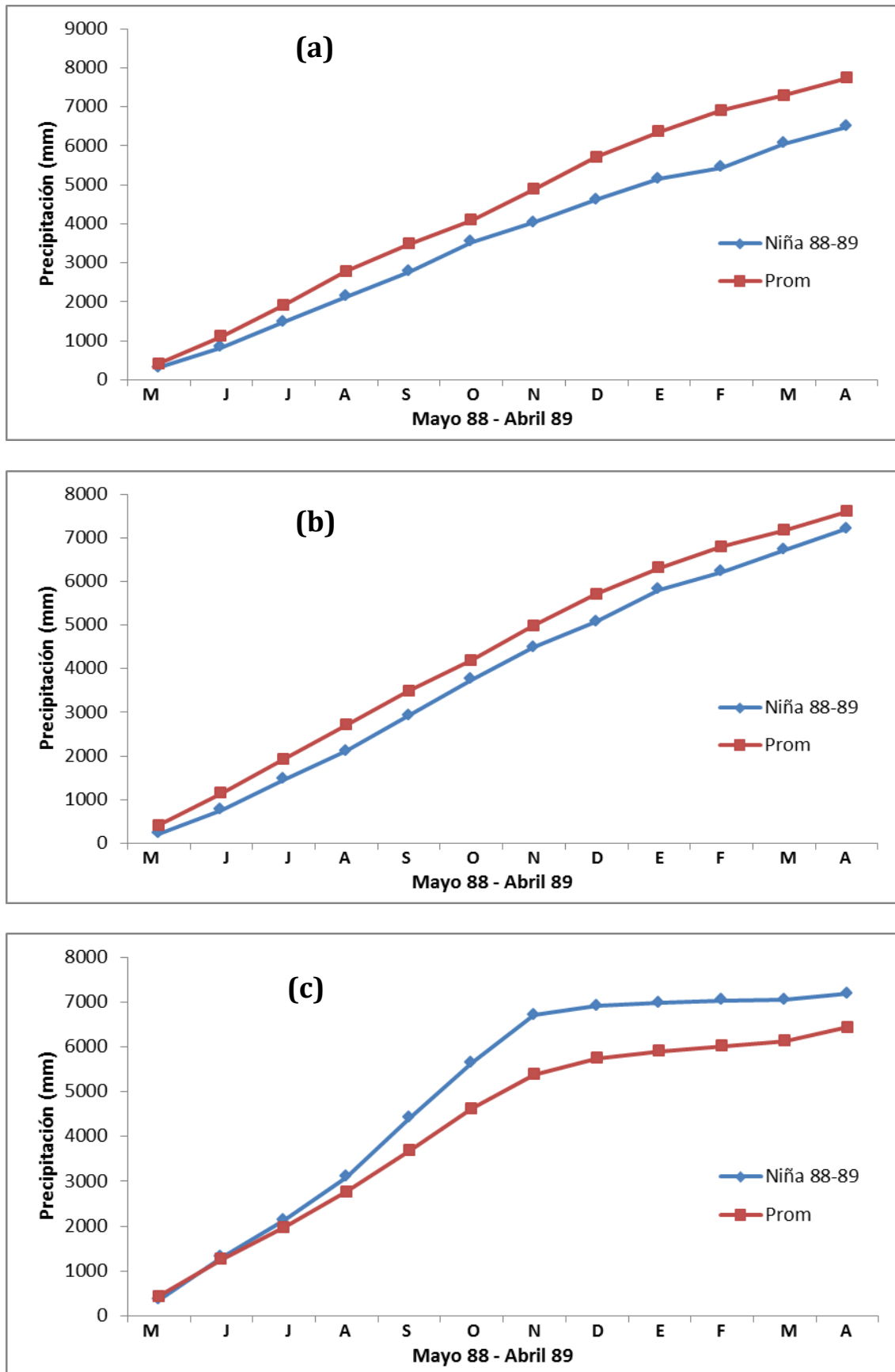


Figura 15: Análisis de la precipitación pentadal promedio acumulada en la estación (a) La Montura, (b) T-Seis, (c) Naranjillo. Periodo Niña 1988-89.

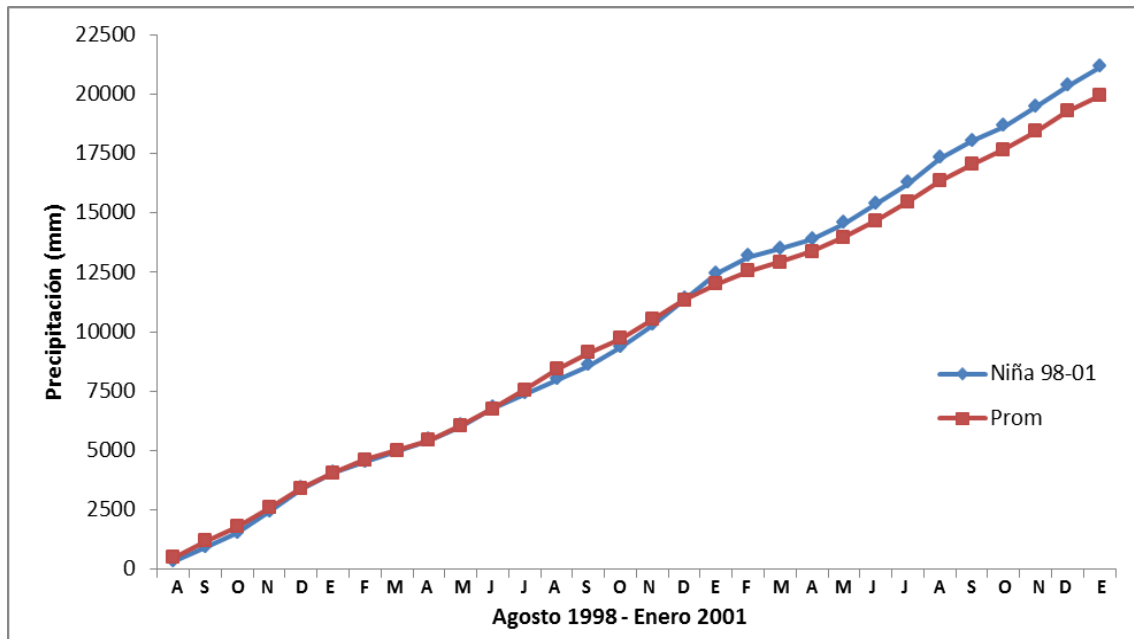


Figura 16: Análisis de la precipitación pentadal promedio acumulada en la estación La Montura. Periodo Niña 1998 - 2001.

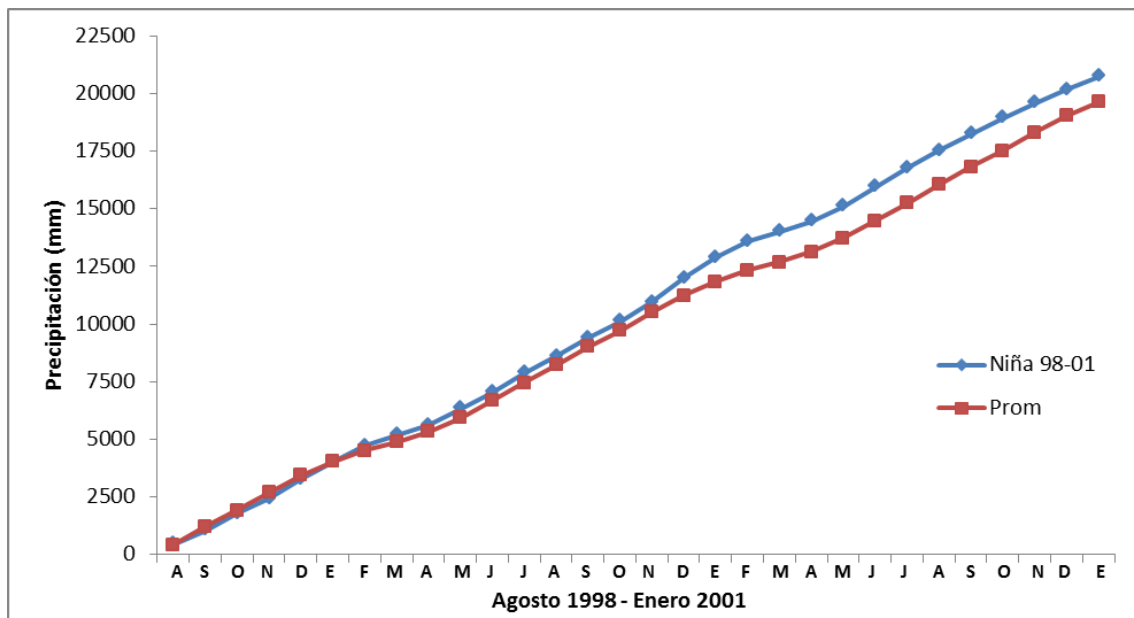
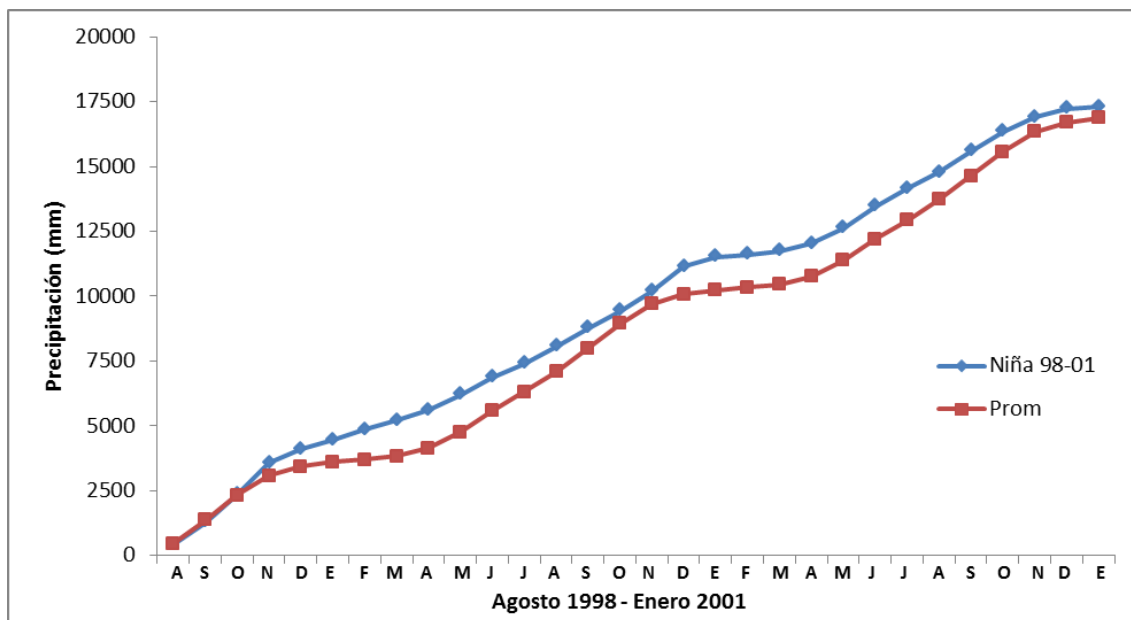


Figura 17: Análisis de la precipitación pentadal promedio acumulada en la estación T-Seis. Periodo Niña 1998 - 2001.



*Figura 18: Análisis de la precipitación pentadal promedio acumulada en la estación Naranjillo. Periodo Niña 1998 - 2001.*

c. –Agosto 2007 a Junio 2008.

Evento de moderada intensidad con una duración de once meses, que presentó acumulados positivos (superávit de precipitación) para cada una de las tres estaciones, independientemente de la región a la que pertenecen. Es importante mencionar que los valores de los acumulados pentadales son más significativos para las estaciones de la RC que la del PC (Figura 19), lo cual se puede observar en las anomalías de la tabla 8, donde los acumulados son los mayores entre los tres eventos Niña en estudio.

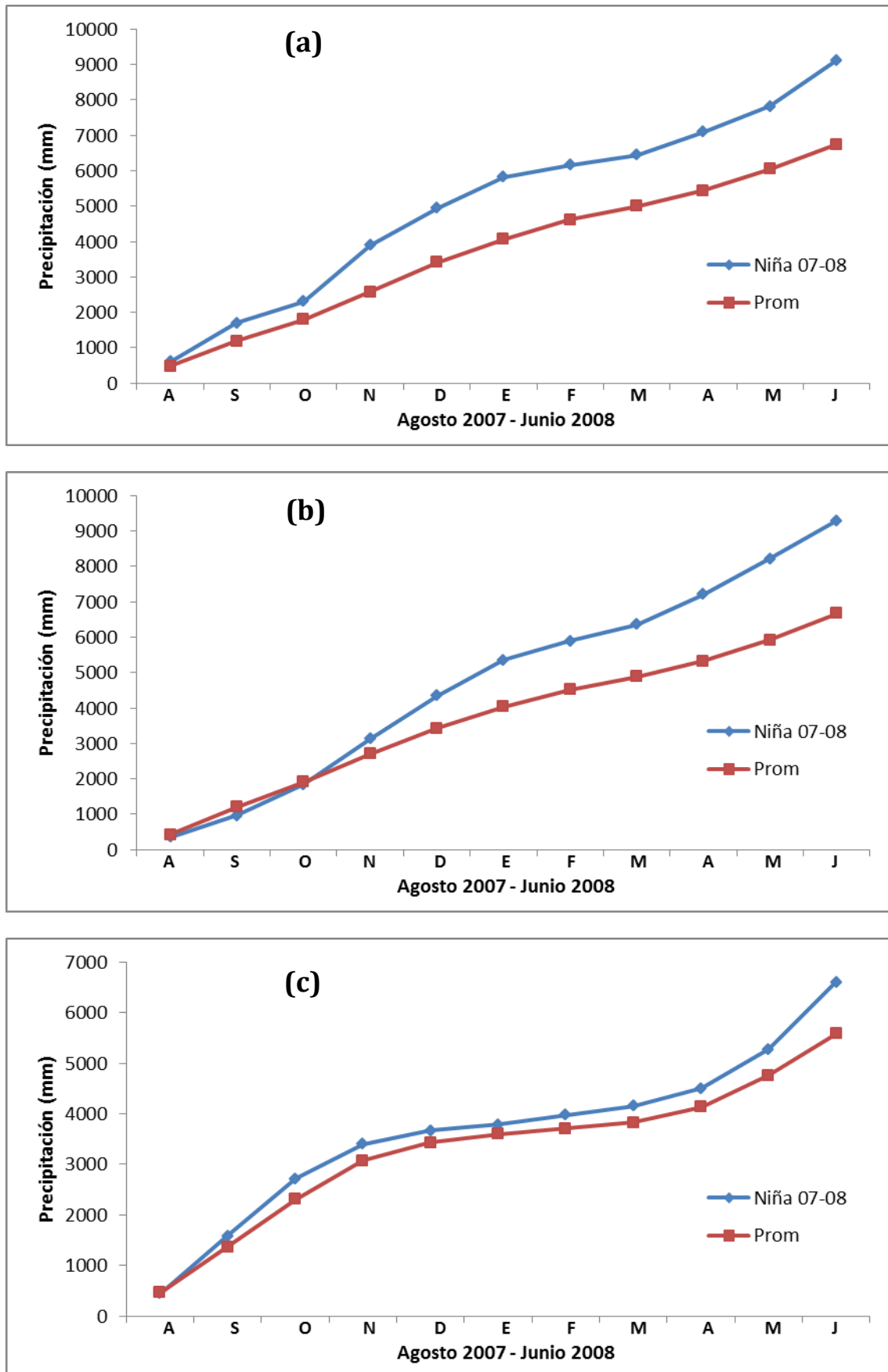


Figura 19: Análisis de la precipitación pentadal promedio acumulada en la estación (a) La Montura, (b) T-Seis, (c) Naranjillo. Periodo Niña 2007 -08.



Tabla 7: Anomalías y Precipitación Acumulada pentadal (mensual) promedio en los periodos NIÑO en estudio.

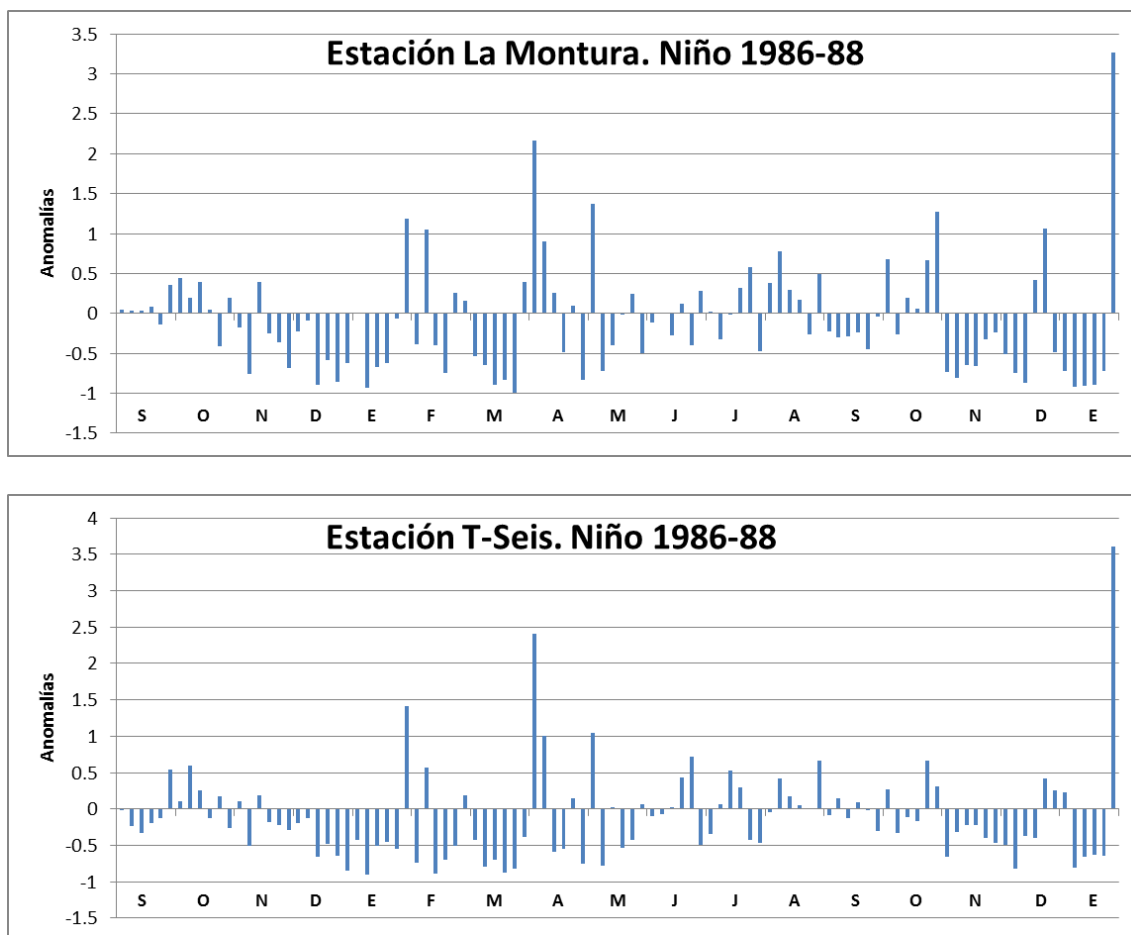
NIÑOS (mm)				
Región	Estación	1986 - 88	1991 - 92	1997 - 98
RC	La Montura	9974	7992	7945
	Prom.período	11196	9037	7733
	ANOMALÍA	-1222(-11%)	-1045(-12%)	+212(+8%)*
RC	T-Seis	9857	8195	7579
	Prom.período	11070	8951	7600
	ANOMALÍA	-1213(-11%)	-756(-9%)	-21(+9%)*
PC	Naranjillo	7809	6695	4900
	Prom.período	9381	7885	6437
	ANOMALÍA	-1572(-17%)	-1190(-15%)	-1537(-24%)

\*porcentaje de los primeros nueve meses del evento.

Tabla 8: Anomalías y Precipitación Acumulada pentadal (mensual) promedio en los periodos NIÑA en estudio.

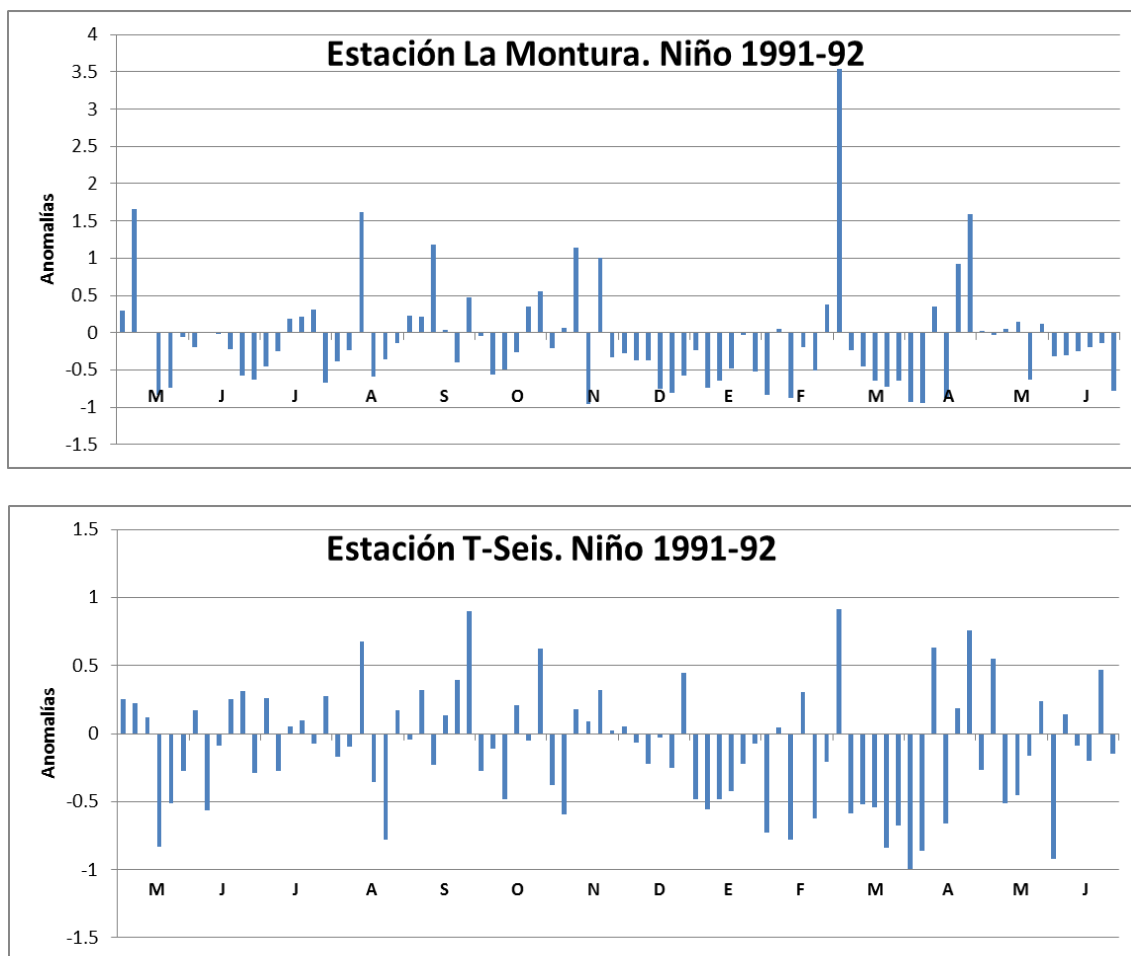
NIÑAS (mm)				
Región	Estación	1988 - 89	1998 - 2001	2007 - 08
RC	La Montura	6490	21132	9124
	Prom.período	7733	19932	6743
	ANOMALÍA	-1243(-16%)	+1200(+6%)	+2381(+35%)
RC	T-Seis	7204	20723	9282
	Prom.período	7600	19633	6669
	ANOMALÍA	-396(-5%)	+1090(+5%)	+2613(+39%)
PC	Naranjillo	7180	17301	6600
	Prom.período	6432	16862	5581
	ANOMALÍA	+748(+11%)	+439(+3%)	+1019(+18%)

Con el fin de determinar los meses en que, en la Región Caribe, se generaron valores promedio negativos (positivos) para los eventos Niño (Niña) de los años 1986-88 y 1991-92 (2007-08 y 1998-2001), en las figuras 20 y 21 (Figura 22 y 23) respectivamente, se presentan las anomalías estandarizadas de precipitación de las péntadas de cada mes para cada periodo.



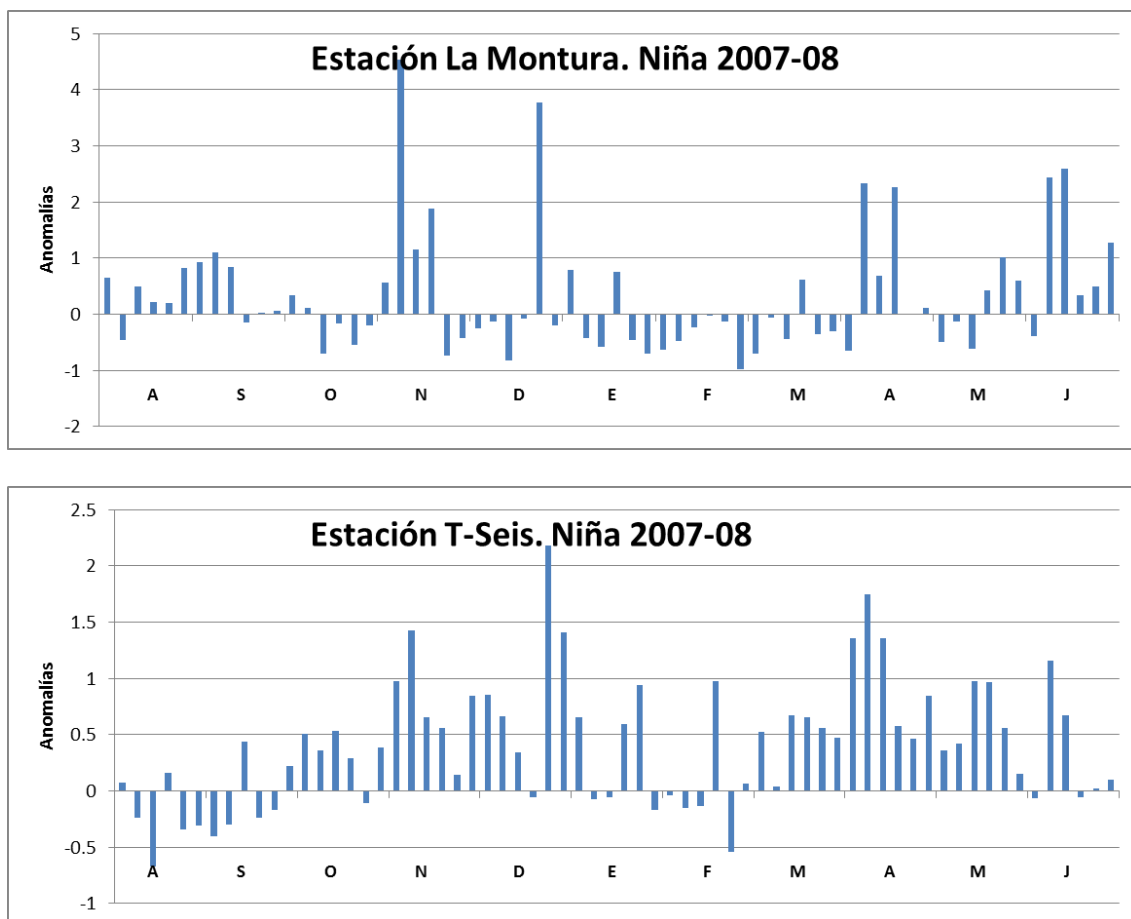
*Figura 20: Anomalía estandarizada pentadal del evento Niño de Setiembre 1986 a Enero 1988 para las dos estaciones de la RC.*

Se observa en la figura 20 como los meses de mayores anomalías negativas, para las dos estaciones de la Región Caribe durante el evento Niño de 1986-88, son las del periodo de noviembre a marzo. Estos meses son donde se deberían registrar buenos acumulados de precipitación no solo por la ocurrencia de frentes (o empujes) fríos, que según estudios se presentaron con lluvias e inundaciones producto de estos (Alfaro y Perez-Briceño, 2014); sino también por el aceleramiento del viento alisio durante fases cálidas del ENOS. Estas anomalías negativas son el 60% para la estación de La Montura y el 65% para T-Seis. En cuanto a anomalías positivas para ambas estaciones, son significativas las péntadas de los meses de: enero (última péntada) y abril de 1987 (primera y segunda péntada), además la última péntada de enero de 1988.



*Figura 21: Anomalía estandarizada pentadal del evento Niño de Mayo 1991 a Junio 1992 para las dos estaciones de la RC.*

Para el Niño de los años 1991-1992 se tiene que las anomalías negativas corresponden al 67% de las péntadas durante el periodo, esto para la estación de La Montura; mientras que para la estación T-Seis son del 60%, siendo más marcadas hacia el final del periodo durante los meses de diciembre a marzo (Figura 21). Anomalías positivas significativas son para las terceras péntadas de agosto y setiembre, junto con la primera de marzo y última de abril, ambas para el año 1992.



*Figura 22: Anomalía estandarizada pentadal del evento Niña de Agosto 2007 a Junio 2008 para las dos estaciones de la RC.*

Para las anomalías positivas de la figura 22, el 49% son las de La Montura; mientras que el 72% son las correspondientes a las de la estación T-Seis, en la cual se presentan por más meses y de forma más consecutiva. Aunque no se observan muchas similitudes, son para los meses de noviembre y diciembre (2007) y los de abril, mayo y junio (2008) que se presentan los mayores superávits de precipitación para ambas estaciones.

En la figura 23 se presentan las anomalías para el evento del Niño de 1998 al 2001. Para la estación de T-Seis las anomalías positivas corresponden al 50.5% presentándose con más regularidad para el año 1999 y los primeros dos meses del año 2000 (principalmente los meses de diciembre, enero y febrero). Por otro lado, aunque en la estación de La Montura solo el 44% de las péntadas son de anomalías positivas (Figura 23), es hacia el final del periodo que se generan las mayores contribuciones en las precipitaciones coincidiendo en los meses con la estación T-Seis. Según Alfaro y Perez-Briceño (2014), se presentó la ocurrencia de impactos para los años del 1998 y 2001 en lo referente a ciclones tropicales.

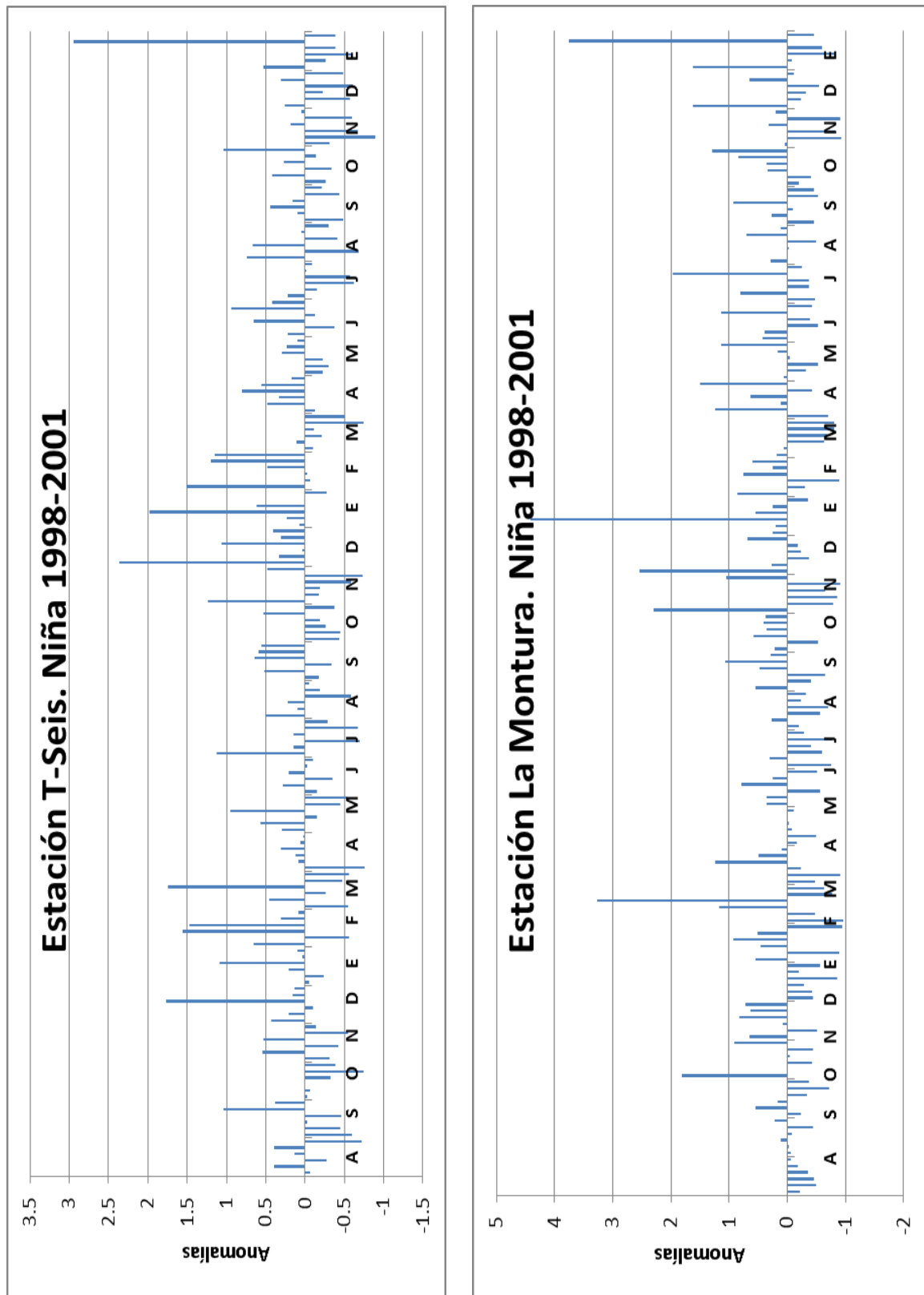


Figura 23: Anomalía estandarizada pentadal del evento Niña de Agosto 1998 a Enero del 2001. Estaciones de RC.

## **CAPÍTULO 4**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

Las tendencias exhibidas por las estaciones de la Región Caribe y Pacífico Central se equiparan con lo expuesto en el estudio de Clima, Variabilidad y Cambio Climático en CR del IMN (2008), donde lo relevante es el aumento de la precipitación con el tiempo para estas dos regiones climáticas.

De acuerdo con los índices estacionales calculados para el período 2000-2008; del 40% al 60% de la precipitación de las estaciones de la ZN (69507-Colonia L. Ángeles, 69524-Caño Negro) y una de la RC (69604-La Montura) se presenta a fin y principio de año (noviembre, diciembre, enero), mientras que para la estación 73036-T-Seis sus mayores contribuciones se dan entre mayo y agosto. Las estaciones de 69507-Colonia L. Ángeles y 69604-La Montura presentan también porcentajes del 40% (o superiores) para el mes canicular de julio.

Queda corroborado que para estaciones del Pacífico Central (92044-Naranjillo, 94006-S.P. Savegre), cerca del 60% hasta el 80% de la precipitación se presenta de forma bimodal entre los meses de mayo y octubre respectivamente, con una disminución de las mismas entre julio y agosto.

En cuanto a las precipitaciones horarias de la Zona Norte, al analizar los valores máximos de lluvia horaria y los meses en que se presentan, se concluye que para la estación 69507-Colonia L. Ángeles, su primer máximo en mayo alrededor de las 14:00 horas (75 mm/h), se debe a la inestabilidad convectiva presente en la atmósfera, mientras que para el del mes de julio (78 mm/h) es producto del aceleramiento del Jet de Bajo Nivel del Caribe durante el periodo canicular. En cuanto a la estación 69524-Caño Negro, los máximos horarios para: junio a las 15:30 y 17:30 horas (69 mm/h) y el mes de setiembre alrededor de la 16:00 horas (60 mm/h); se deben a la inestabilidad convectiva reforzada y prolongada por la actividad que se genera en la vertiente Pacífico.

Para las estaciones en la RC, el periodo más probable para que se dé un máximo de precipitación horario para la estación 69604-La Montura es alrededor de las 15:00 horas (155 mm/h) el cual, observando los meses (julio-agosto), es debido al aceleramiento e

interacción del Jet de Bajo Nivel del Caribe con la cordillera. En cuanto a las estación 73036-T-Seis, su máximo en mayo cercano a las 15:00 horas (125 mm/h) es producto del cambio de la atmósfera a inestabilidad y por el constante ascenso de parcelas de aire hacia niveles de convección por elevación; donde se observó que conforme avanza el año hasta el mes de octubre, se presentan montos de precipitación horaria considerables a horas más tempranas, lo cual denota la acentuación de la inestabilidad en las parcelas.

En el PC las estaciones presentan sus máximos horarios ambas para los meses de mayo y setiembre con montos mayores hacia este último mes, precisamente cuando la inestabilidad en la atmósfera es máxima sobre la región. La estación 69004-Naranjillo, es la que presenta los mayores máximos acumulados horarios del país, para ambos meses alrededor de la 14:00 horas. En mayo los montos están cerca de los 160 mm/h mientras que en setiembre alcanzan los 180 mm/h. En cuanto a la estación 94006-S.P.Savegre el máximo horario de mayo se presenta a las 14:00 horas (140 mm/h), mientras que el de setiembre se traslada una hora más tarde, específicamente a las 15:00 horas (167 mm/h), esto debido a que la convección se generaliza más hacia partes bajas, aunque los mayores montos se registran montaña arriba.

Al suponer en particular montos significativos superiores a los 20 milímetros para precipitación que puede ser del tipo orográfica y estratificada, como una de las primeras formas de precipitación que pueden presentar los sistemas frontales o empujes fríos; se observó que la estación 69524-Caño Negro, no solo por su posición sino que también por su altura, presenta una disminución de montos de precipitación horarios para los meses de noviembre y diciembre entre las 9:30 am y 2:00 pm. No es el caso para las estaciones 69507-Colonia L. Ángeles y 69604-La Montura, donde en contraparte, no solo se dan montos durante la mayoría de las horas del día para estos meses, sino que esta última presenta montos máximos de 50 mm/h alrededor de las 6:00 am.

Considerando el tipo de precipitación, las horas de ocurrencia y los meses de mayor probabilidad para la generación de estos máximos horarios para el país, se concluye que los mismos se presentan por convección local e interacción con la orografía, favorecida en ocasiones por el paso de sistemas de mesoescala como: Bajas Presiones, Ondas Tropicales o del Este, Vaguadas, Ciclones Tropicales; aunado a la estacionalidad de la Zona de Confluencia Intertropical sobre el país y la influencia que tiene anualmente el Jet de Bajo Nivel del Caribe en la región.

Las dos péntadas de mayor precipitación para las estaciones son: la sexta péntada de julio con 161.5 mm y la quinta de noviembre con 169 mm para la estación 69604-La Montura; la quinta péntada de julio con 157 mm y la segunda de noviembre con 149 mm para la estación 73036-T-Seis; la sexta péntada de mayo con 177.5 mm y la tercera de octubre con 200 mm para 92004-Naranjillo. Esto para el periodo del año 1985 al 2008.

La estación del Pacífico Central 92004-Naranjillo, refleja claramente lo que dicen estudios previos referente a las fases del ENOS: anomalías positivas para Niñas fuertes moderadas o débiles y anomalías negativas superiores para Niños fuertes que para eventos moderados o débiles.

Si bien es cierto los estudios revelan que la probabilidad de ocurrencia de más de tres escenarios distintos es la misma, esto para la Región Caribe en la fase fría del ENOS (señal no clara); este trabajo en particular denota anomalías pentadales positivas para la estación 73036-T-Seis (69604-La Montura), superiores al 70% (del 49%) para los meses de noviembre y diciembre y enero (noviembre y diciembre) del 2007; y marzo abril, mayo y junio (abril, mayo y junio) del 2008, donde durante estos años fue un evento Niña de moderada intensidad.

El periodo Niña de los años 1988-1989 de fuerte intensidad generó anomalías negativas mayormente durante todos sus meses de vigencia; con la excepción de los meses de: setiembre, octubre, diciembre y febrero, esto para ambas estaciones de la RC. La causa de esto es que sistemas sinópticos como ondas tropicales (o del este) y bajas presiones, que tienden a desplazarse longitudinalmente, llegan a contribuir positivamente más durante Niñas moderadas o débiles (para algunas regiones de la vertiente Caribe), que cuando una Niña es fuerte y los sistemas deflectan más hacia el norte-noroeste (ondas tropicales). Además, porque la ocurrencia de empujes fríos es menos hacia latitudes bajas.

La Niña de los años 1998 al 2001 presentó sus mayores anomalías pentadales positivas para los meses de diciembre, enero y febrero para ambas estaciones de la región Caribe; principalmente los años 1999 y 2000.

Según el documento Clima, Variabilidad y Cambio Climático en CR del IMN, la fase cálida del ENOS genera anomalías positivas en la RC, mientras que según el análisis



puntual de este trabajo y las estaciones utilizadas solo durante eventos fuertes la señal es clara. Para los eventos moderados o débiles la estación 73036-T-Seis de esta región, se ve afectada de forma similar por los cambios que el ENOS genera en las regiones Pacífico: anomalías positivas en la Niña y anomalías negativa durante el Niño.

El evento Niño de los años 1986 a 1988 y el de 1991 a 1992 (ambos de moderada intensidad), presentaron sus mayores déficit de precipitación los meses de fin y principio de año en las estaciones de 69604-La Montura y 73036-T-Seis; ambas de la RC.

Es recomendable realizar otros estudios con diferentes estaciones específicas de la Región Caribe y Zona Norte para poder determinar claramente las horas en las que se presentan las mayores contribuciones y efectos de precipitación frontal (o de empujes fríos) sobre estas regiones. Además, concluir si existe alguna altura (o nivel) en la que el frente deja toda su precipitación a barlovento, especialmente en la Región Caribe.

Se sugiere realizar más estudios, en lo referente a variaciones anual-estacional de la precipitación, para estaciones puntuales y estratégicas en las diferentes regiones climáticas del país; esto con el fin de determinar nuevos cambios y poder explicar mejor la variabilidad local de las mismas.

## ANEXO 1.

### A1.1-COMPLETADO DE SERIES DE DATOS.

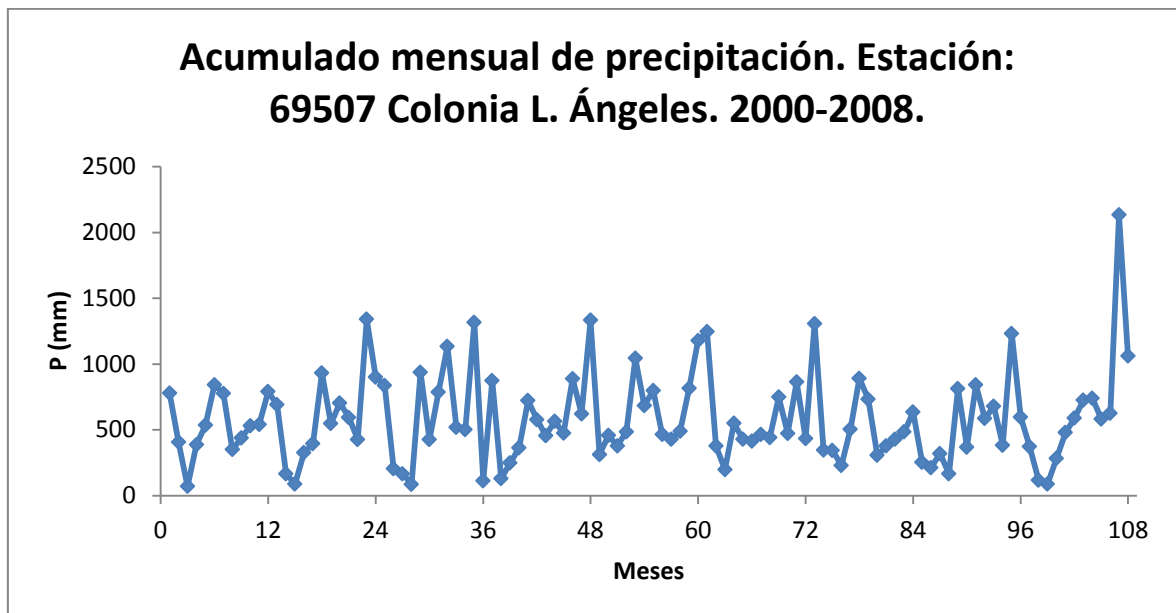


Figura A1.1.1: Acumulado mensual de la estación Colonia L. Ángeles (Zona Norte).

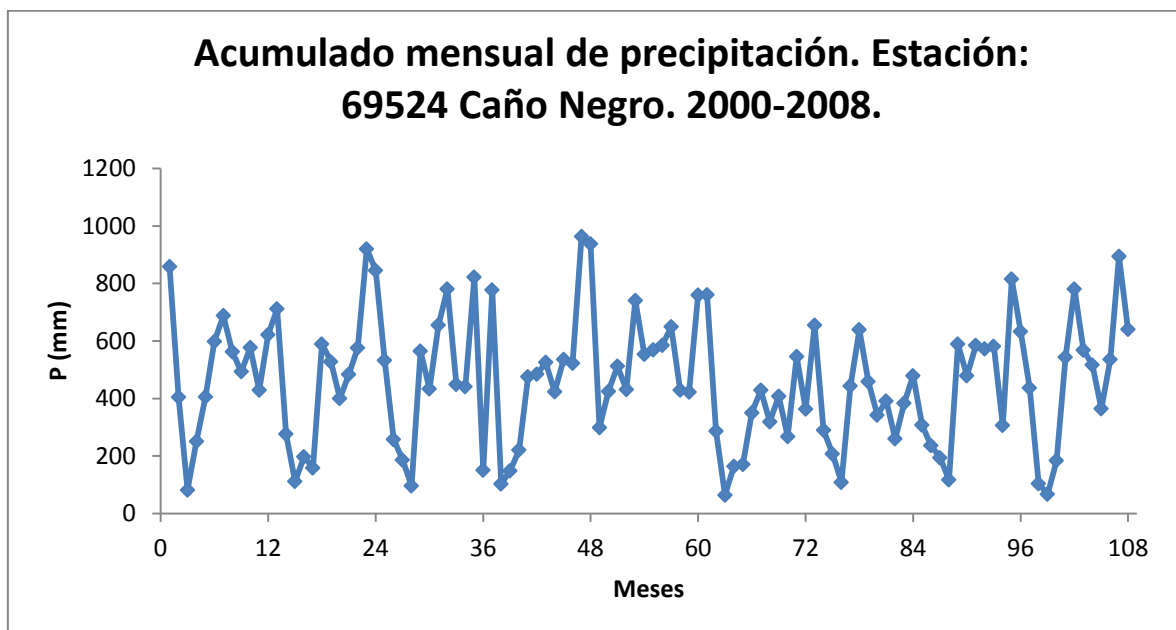


Figura A1.1.2: Acumulado mensual de la estación Caño Negro (Zona Norte).

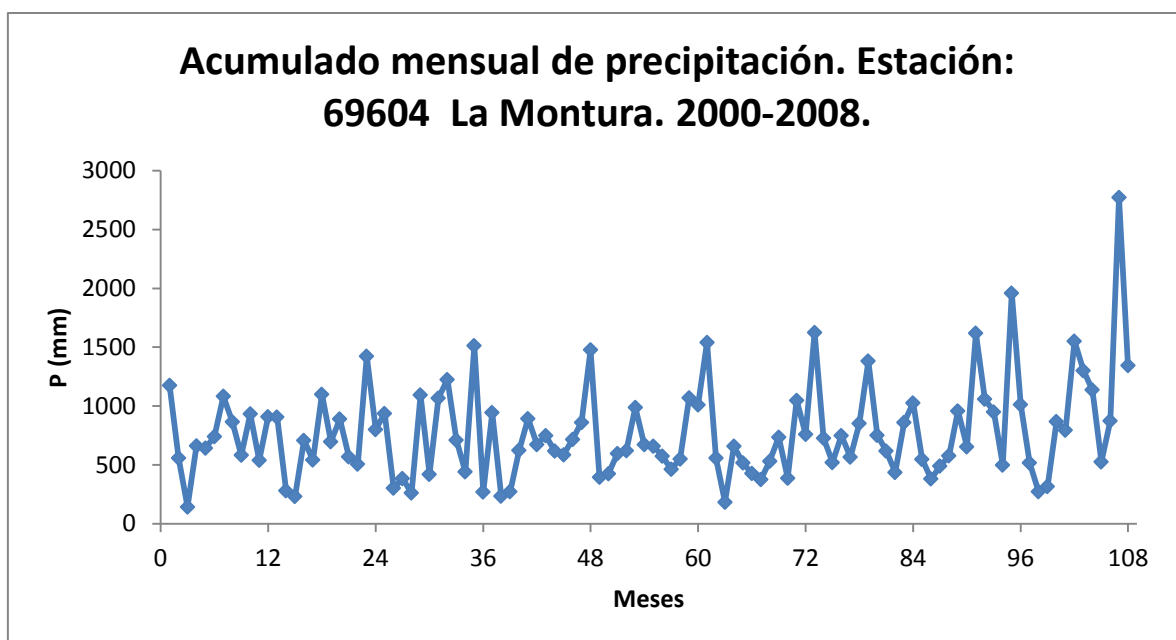


Figura A1.1.3: Acumulado mensual de la estación La Montura (Región Caribe).

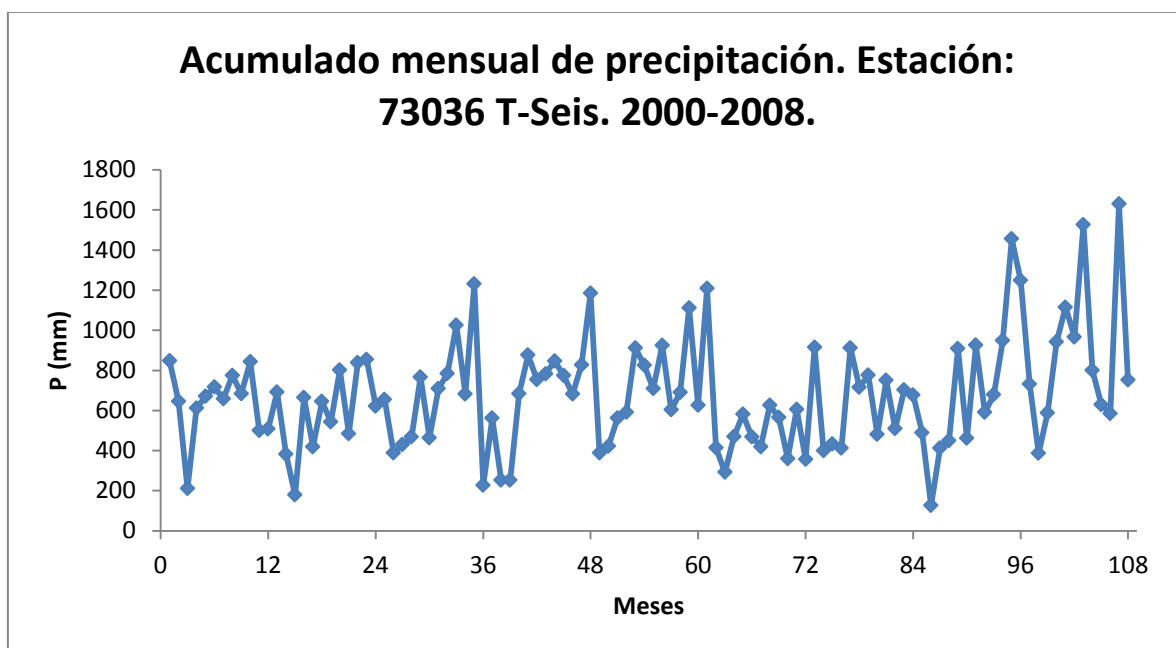


Figura A1.1.4: Acumulado mensual de la estación T-Seis (Región Caribe).

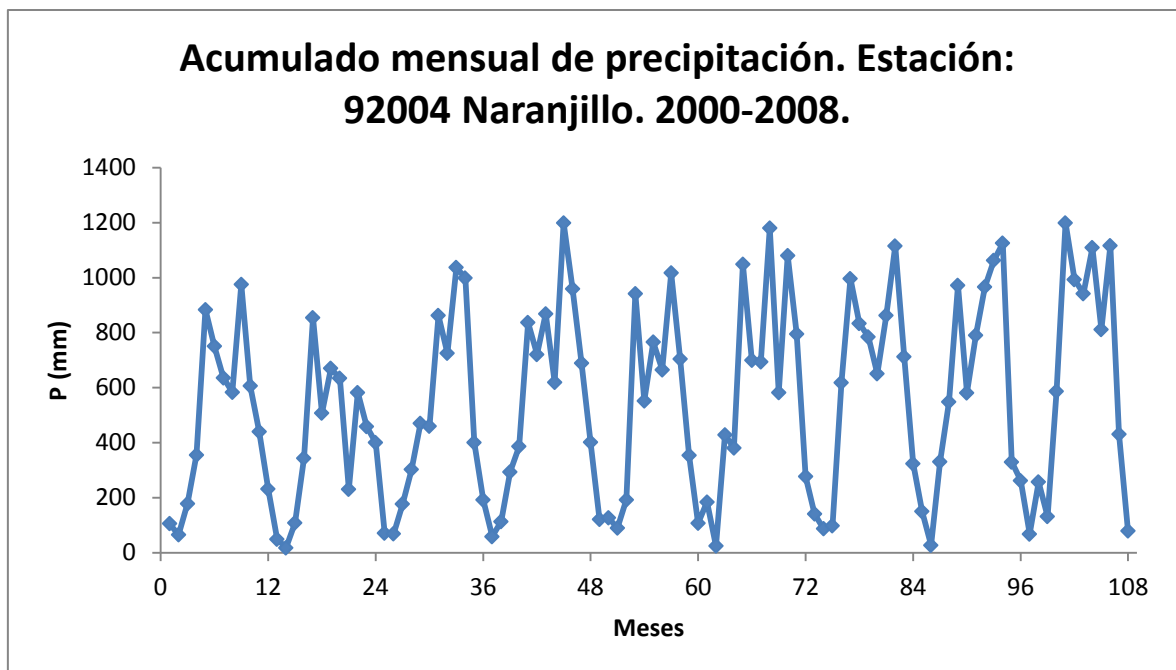


Figura A1.1.5: Acumulado mensual de la estación Naranjillo (Pafico Central).

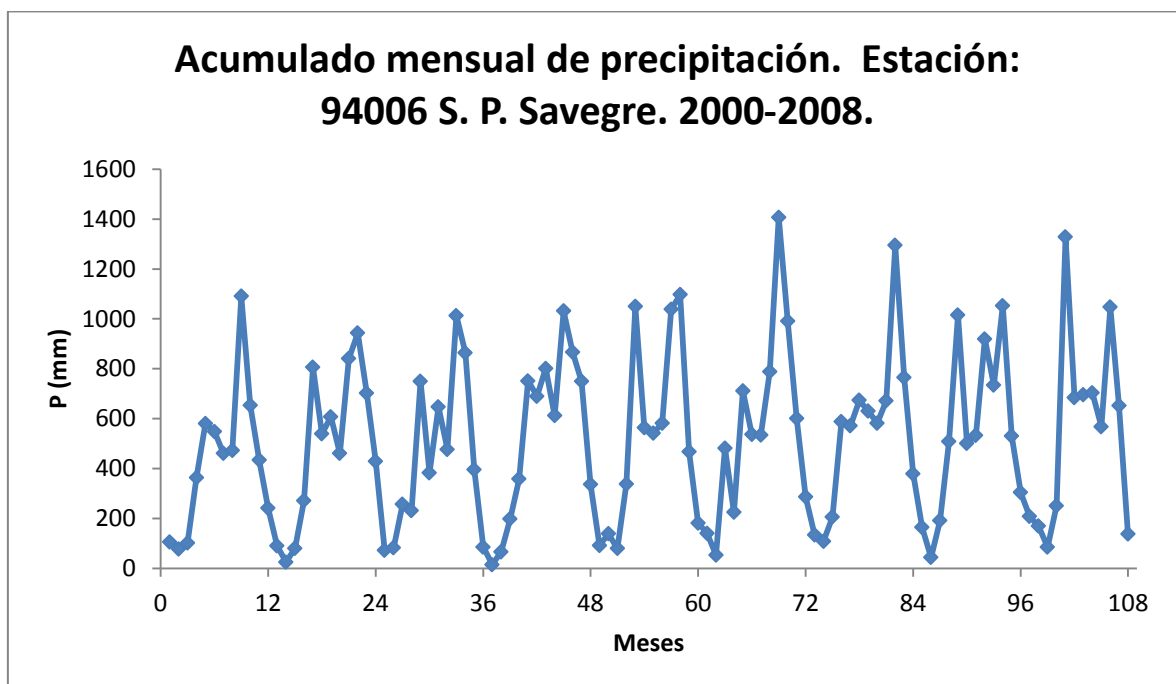


Figura A1.1.6: Acumulado mensual de la estación S. P. Savegre (Pafico Central).

## A1.2-ANÁLISIS DE CALIDAD.

Tabla A1.2: Precipitación Anual promedio para dos estaciones de la Región Caribe y una del Pacífico. Las tres estaciones de mayores cantidades de precipitación horaria.

<b>Precipitación Anual (mm)</b>			
<b>Año de Registro</b>	<b>69604 La Montura</b>	<b>73036 T-Seis</b>	<b>92004 Naranjillo</b>
<b>1985</b>	6363.3	7300.9	7669.0
<b>1986</b>	7360.3	7308.6	5747.6
<b>1987</b>	7418.5	7056.7	5600.7
<b>1988</b>	6670.9	7295.3	7470.0
<b>1989</b>	7785.4	8434.8	6627.2
<b>1990</b>	7131.8	8118.4	7330.0
<b>1991</b>	6738.4	7472.6	6141.5
<b>1992</b>	6463.4	7078.2	6043.6
<b>1993</b>	7101.3	7839.9	5970.7
<b>1994</b>	6300.6	7356.8	6173.7
<b>1995</b>	5474.5	6215.7	7763.6
<b>1996</b>	8132.3	8440.3	8179.7
<b>1997</b>	8680.8	8548.7	5739.6
<b>1998</b>	7443.4	7015.0	6698.3
<b>1999</b>	7828.6	8721.5	7197.8
<b>2000</b>	8932.5	7985.9	5815.6
<b>2001</b>	8660.8	7123.4	4860.1
<b>2002</b>	8628.1	7828.8	5766.8
<b>2003</b>	8649.4	8354.6	7318.0
<b>2004</b>	8006.4	8358.7	5640.3
<b>2005</b>	8000.2	6320.2	7378.0
<b>2006</b>	10118.8	7680.0	7255.6
<b>2007</b>	10708.3	8693.8	7149.0
<b>2008</b>	11693.5	10630.4	7757.3
<b>PROM</b>	<b>7928.8</b>	<b>7799.1</b>	<b>6637.2</b>

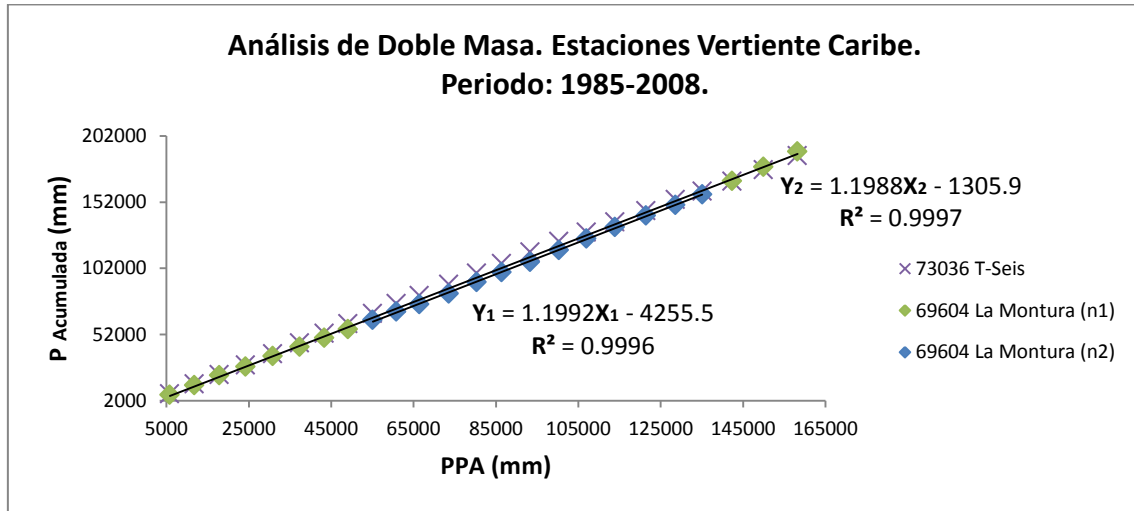


Figura A1.2: Análisis de saltos para dos estaciones de registro dudoso.  $Y_1$  y  $Y_2$ : regresiones para los dos periodos en cuenta de la estación La Montura.

### A1.3-COMPONENTES DE LAS SERIES DE TIEMPO: TENDENCIA

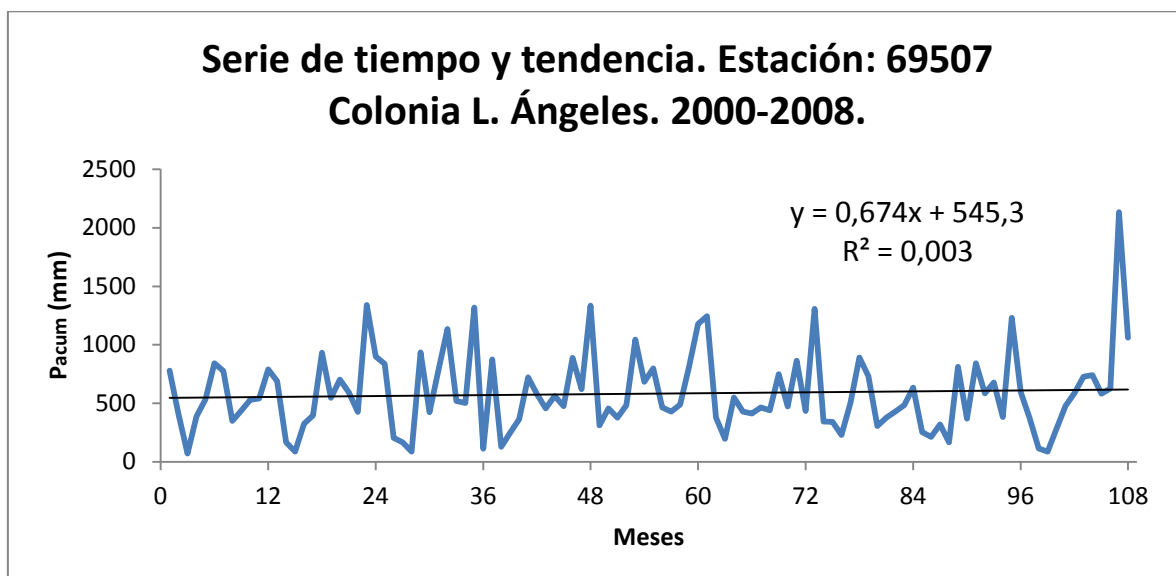


Figura A1.3.1: Tendencia de la estación Colonia L. Ángeles (Zona Norte).

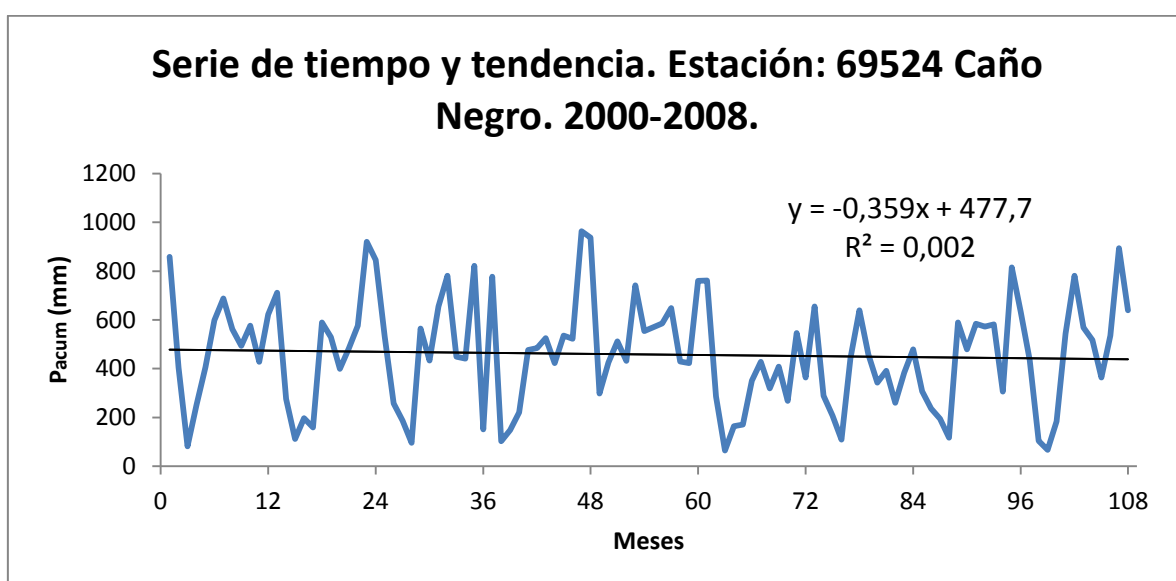


Figura A1.3.2: Tendencia de la estación Caño Negro (Zona Norte).

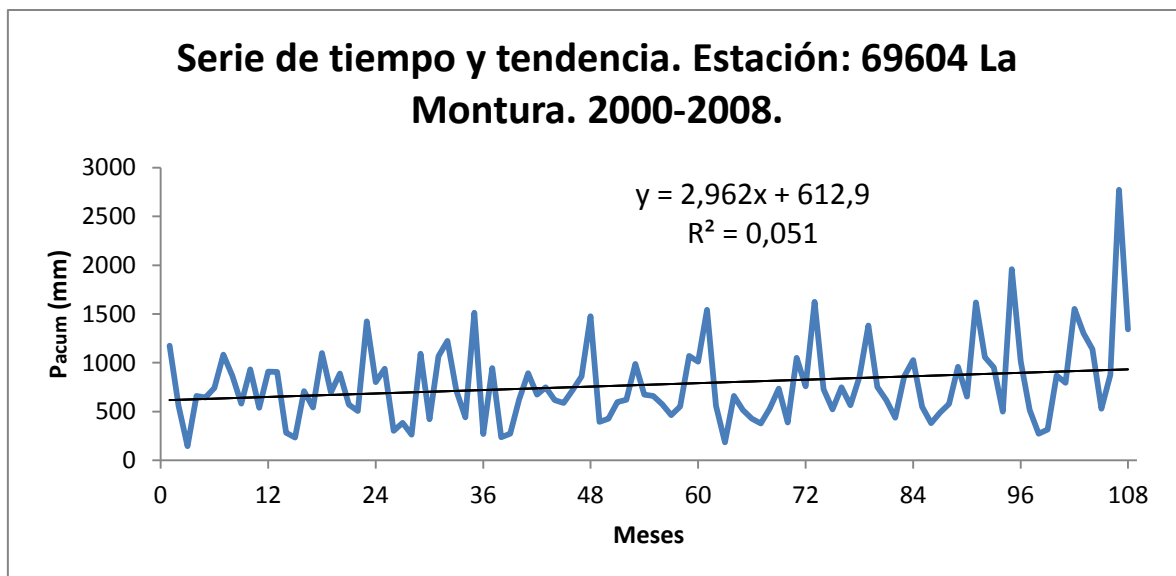


Figura A1.3.3: Tendencia de la estación La Montura (Región Caribe).

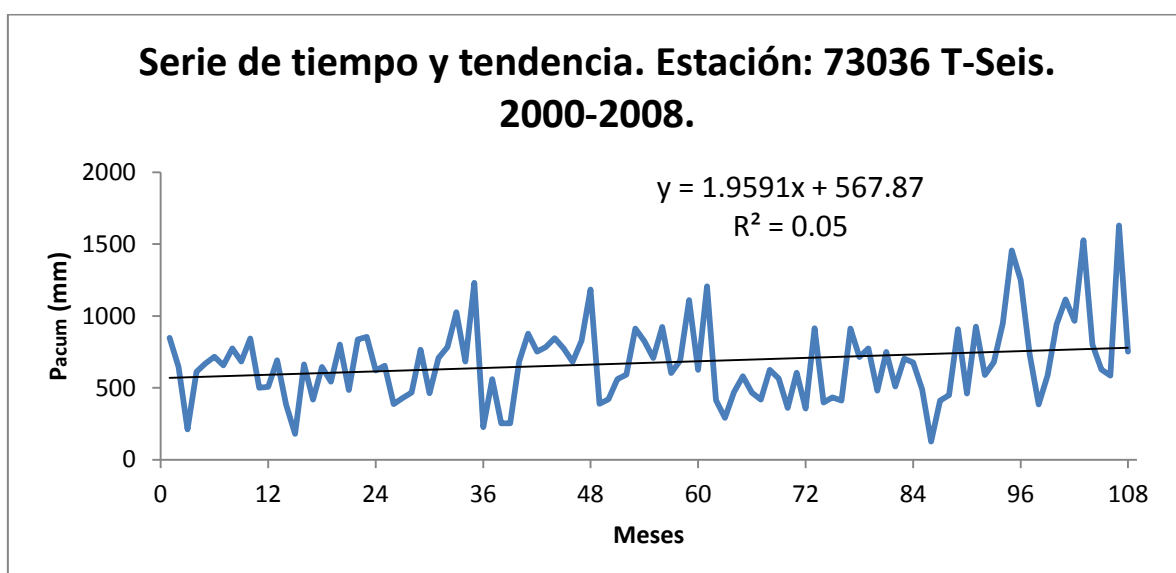


Figura A1.3.4: Tendencia de la estación T-Seis (Región Caribe).



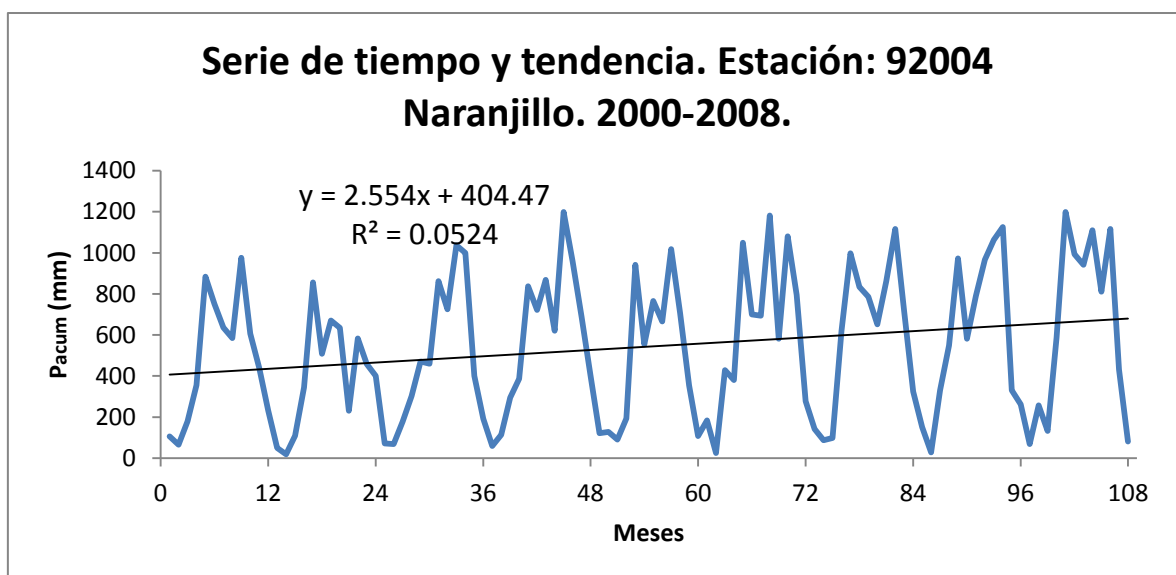


Figura A1.3.5: Tendencia de la estación Naranjillo (Pacífico Central).

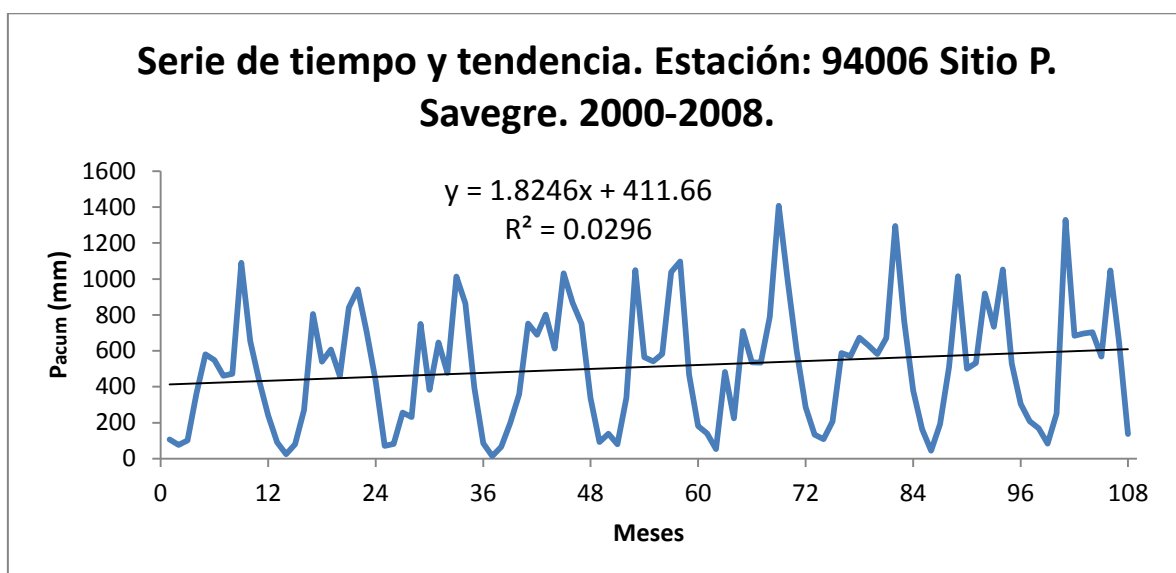


Figura A1.3.6: Tendencia de la estación S. P. Savegre (Pacífico Central).

#### A1.4 ESTACIONALIDAD

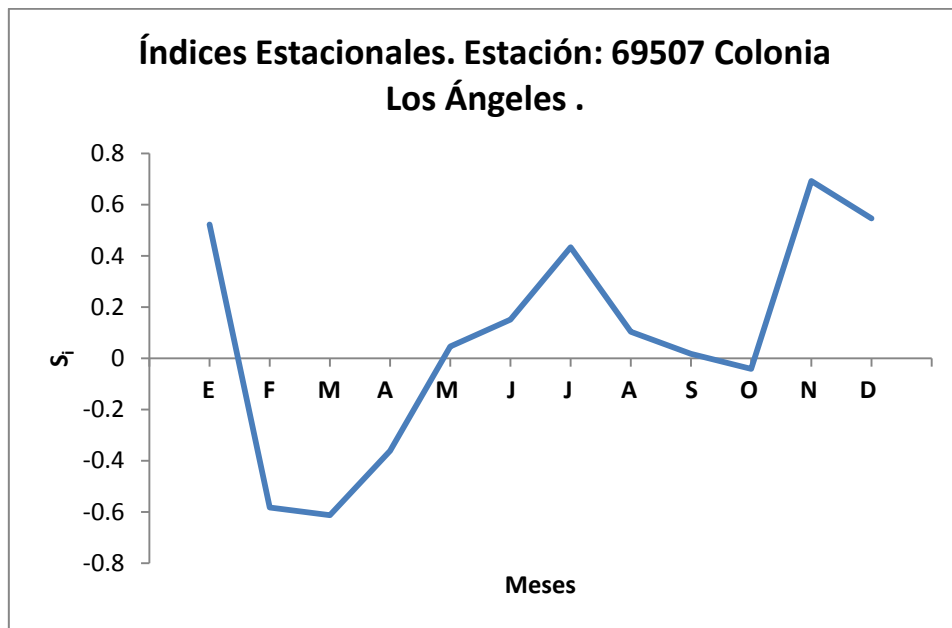


Figura A1.4.1: Índices Estacionales. Colonia L. Ángeles (ZN).

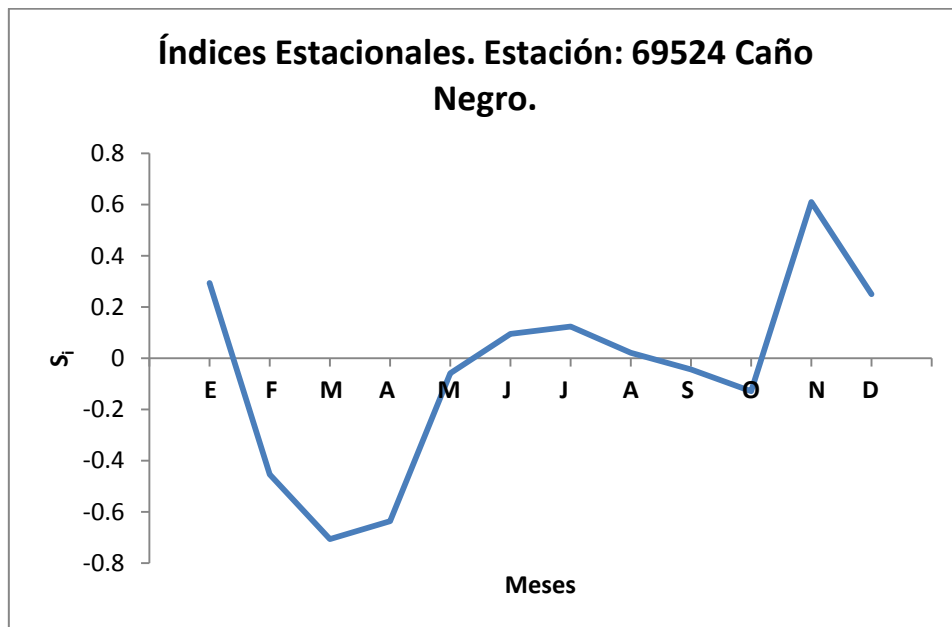


Figura A1.4.2: Índices Estacionales. Caño Negro (ZN).

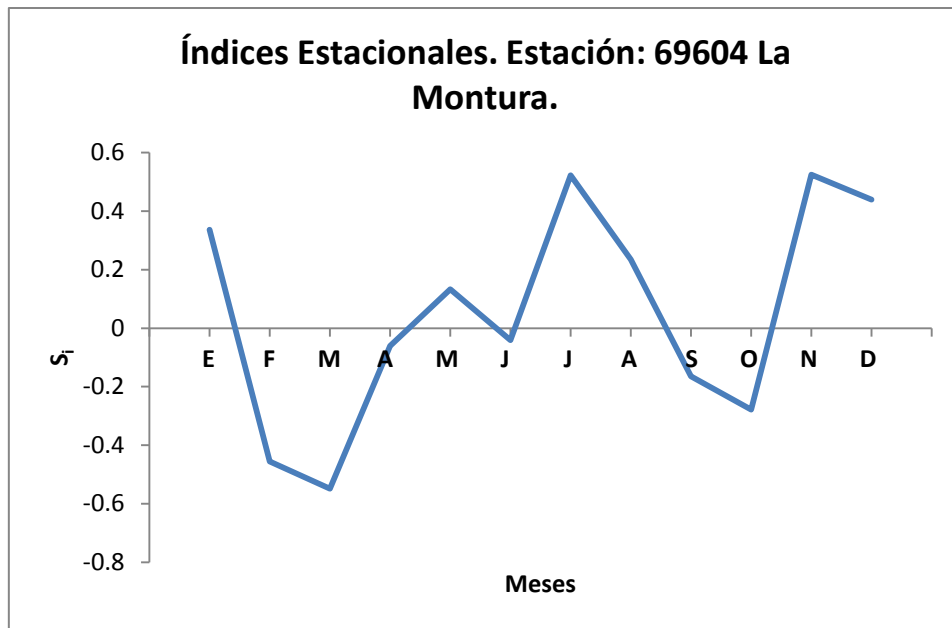


Figura A1.4.3: Índices Estacionales. La Montura (RC).

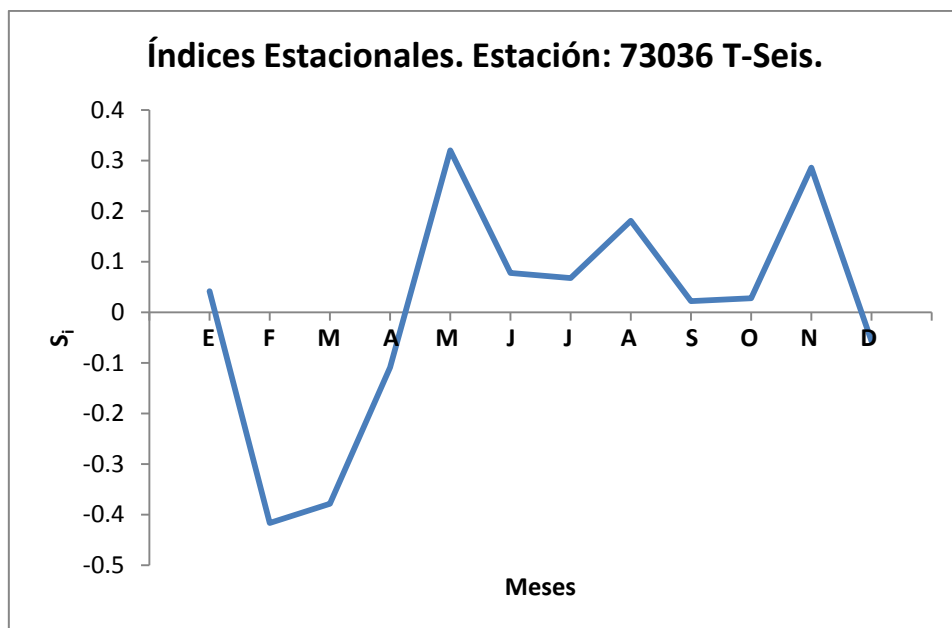


Figura A1.4.4: Índices Estacionales. T-Seis (RC).

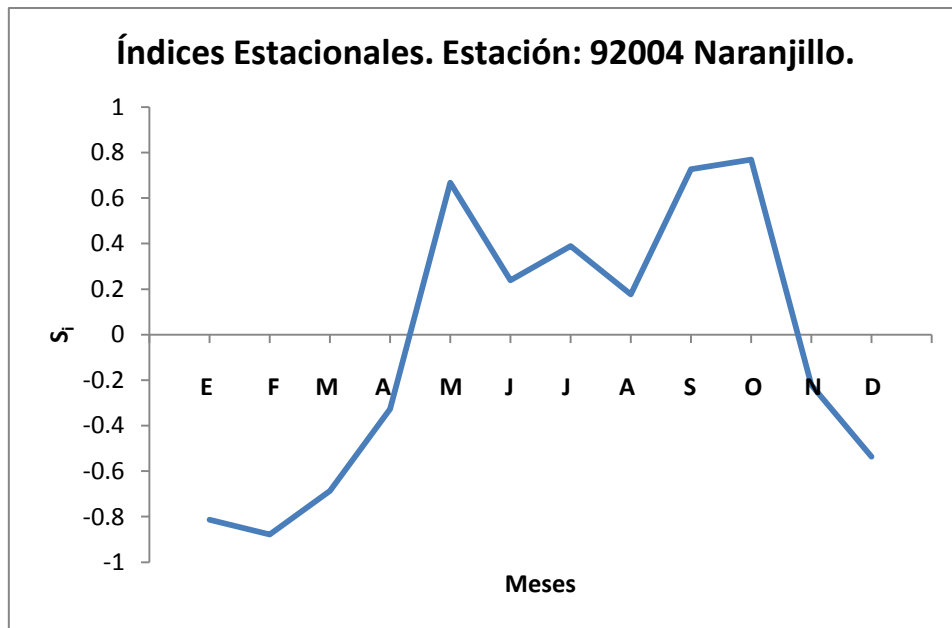


Figura A1.4.5: Índices Estacionales. Naranjillo (PC).

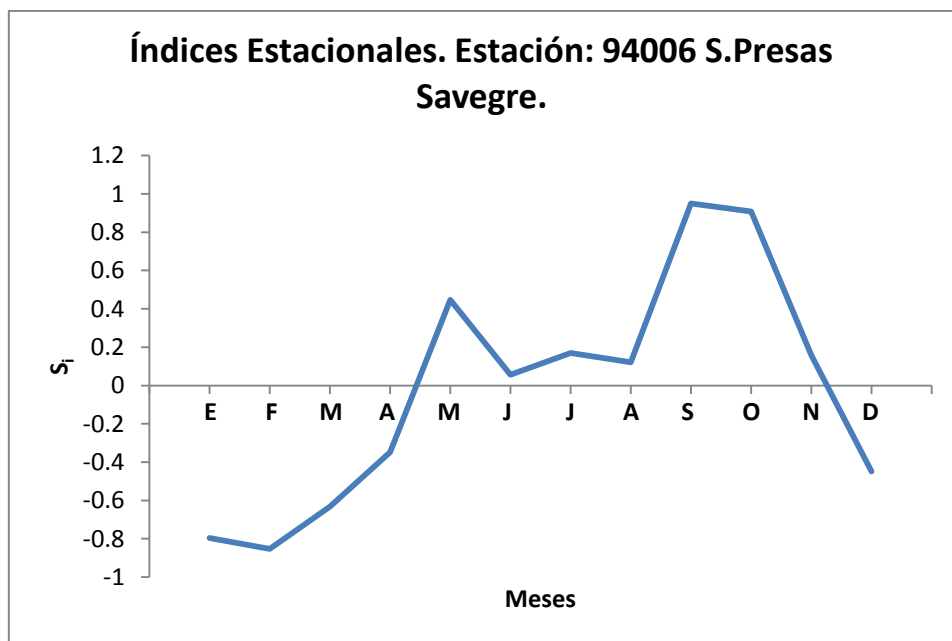


Figura A1.4.6: Índices Estacionales. S. P. Savegre (PC).

### A1.5 RUIDO DE LAS SEÑALES.

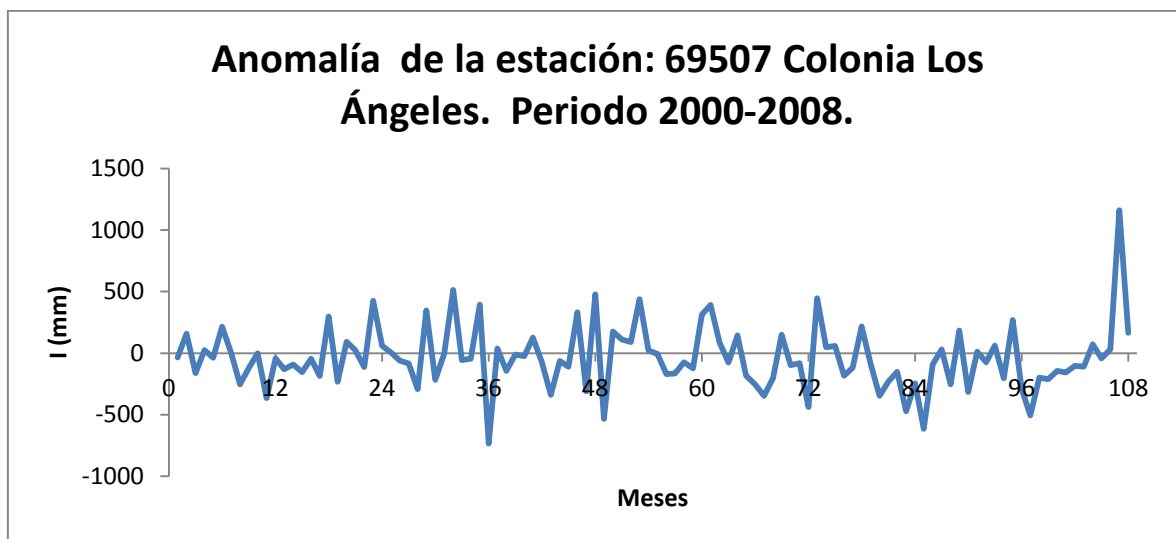


Figura A1.5.1: Anomalía de la estación sin rasgos de Tendencia y Estacionales. Colonia L. Ángeles (ZN).

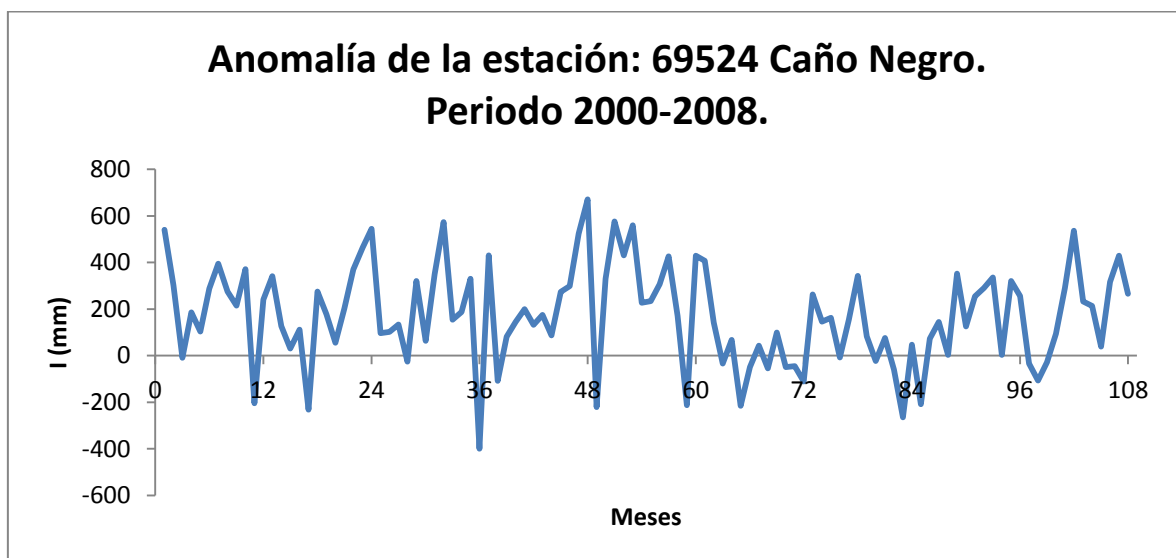


Figura A1.5.2: Anomalía de la estación sin rasgos de Tendencia y Estacionales. Caño Negro (ZN).

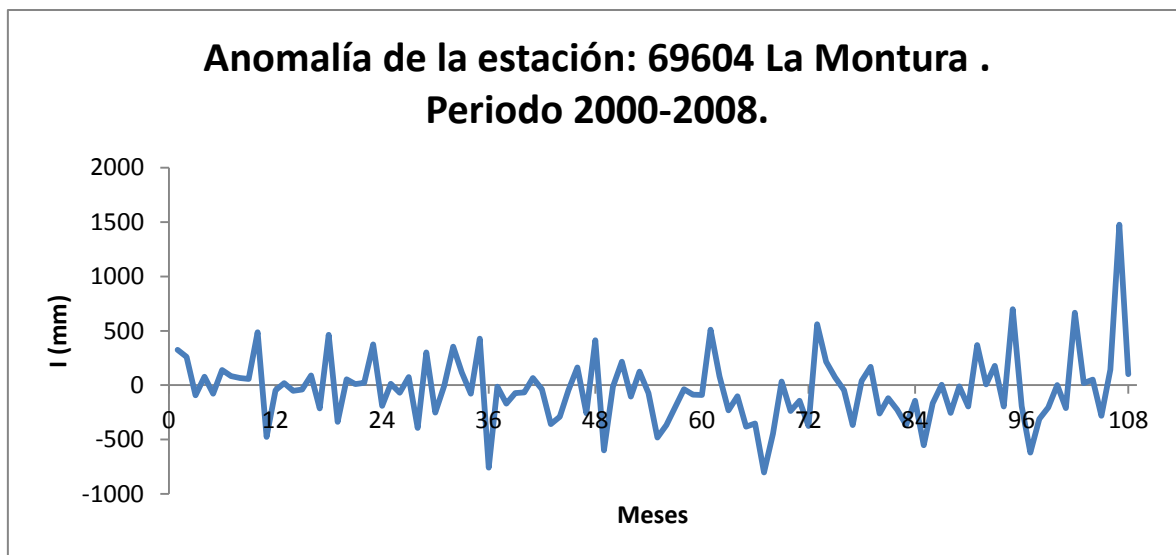


Figura A1.5.3: Anomalía de la estación sin rasgos de Tendencia y Estacionales. La Montura (RC).

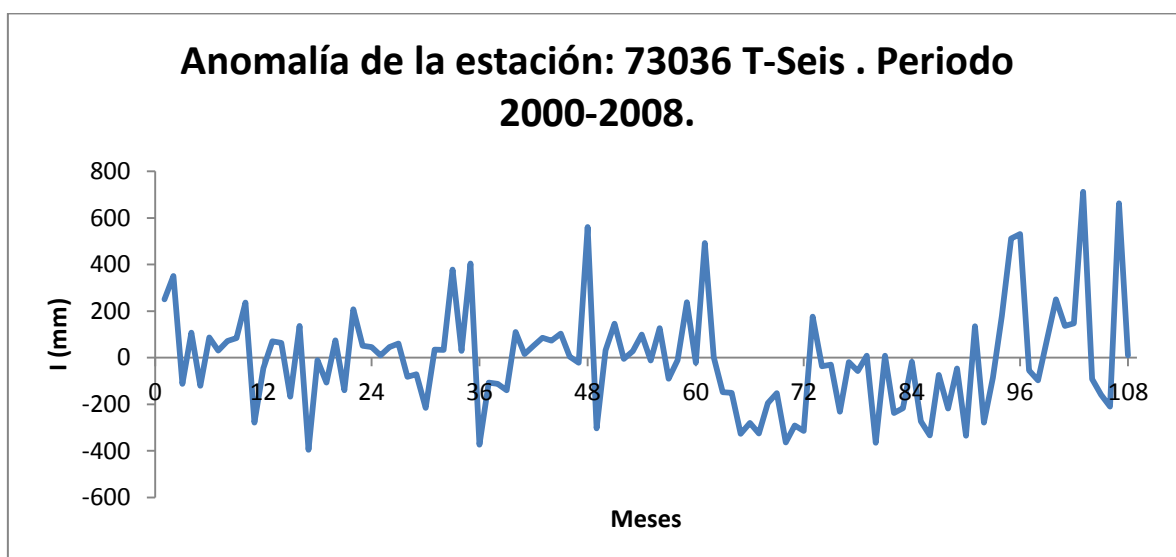


Figura A1.5.4: Anomalía de la estación sin rasgos de Tendencia y Estacionales. T-Seis (RC).

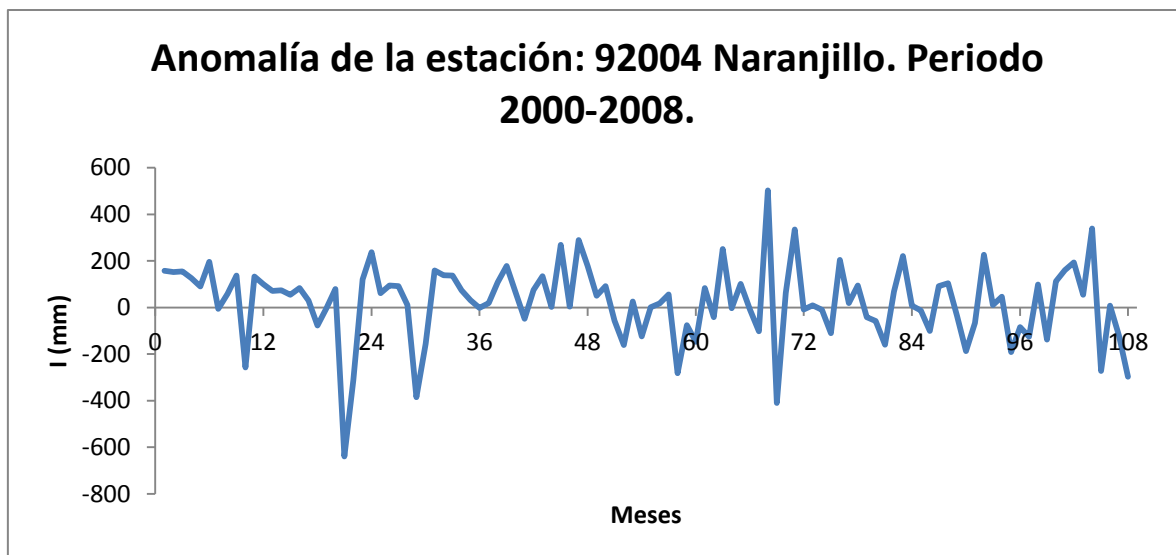


Figura A1.5.5: Anomalía de la estación sin rasgos de Tendencia y Estacionales. Naranjillo (PC).

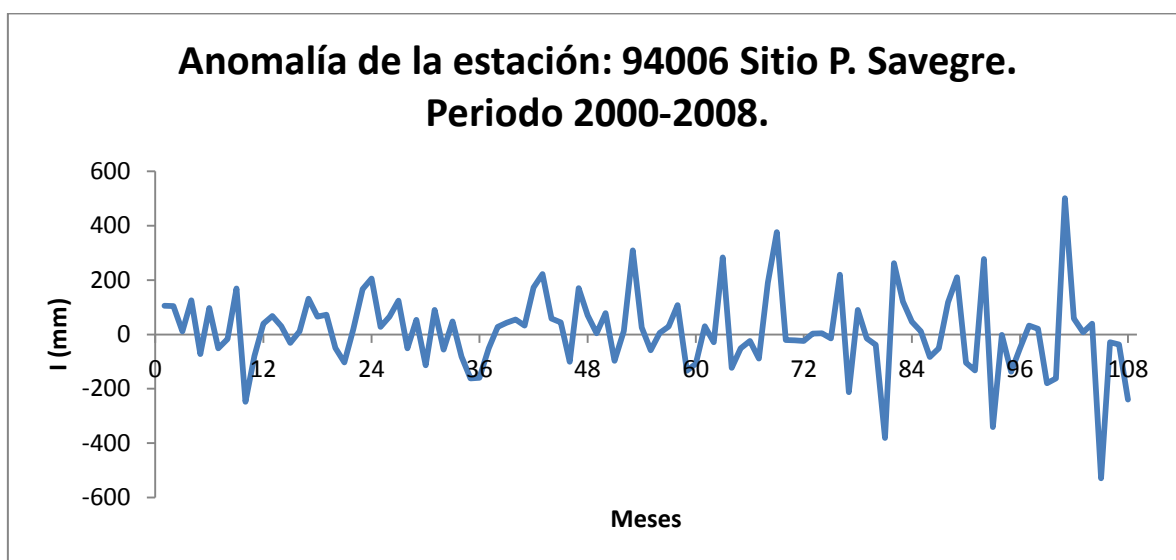


Figura A1.5.6: Anomalía de la estación sin rasgos de Tendencia y Estacionales. S. P. Savegre (PC).

## ANEXO 2.

Tabla A2.1: Índice Oceánico del Niño que caracteriza el evento ENOS.

ESTADO DE ENOS				AZUL: NIÑA			ROJO: NIÑO					
Año/Meses	DEF	EFM	FMA	MAM	AMJ	MJJ	JJA	JAS	ASO	SON	OND	NDE
1980	0,5	0,4	0,3	0,3	0,4	0,4	0,3	0,1	-0,1	0,0	0,0	-0,1
1981	-0,4	-0,6	-0,5	-0,4	-0,3	-0,3	-0,4	-0,4	-0,3	-0,2	-0,2	-0,1
1982	-0,1	0,0	0,1	0,3	0,5	0,7	0,7	1,0	1,5	1,9	2,1	2,2
1983	2,2	1,9	1,5	1,2	0,9	0,6	0,2	-0,2	-0,5	-0,8	-0,9	-0,8
1984	-0,5	-0,3	-0,3	-0,4	-0,5	-0,5	-0,3	-0,2	-0,3	-0,6	-0,9	-1,1
1985	-1,0	-0,9	-0,7	-0,7	-0,7	-0,6	-0,5	-0,5	-0,5	-0,4	-0,4	-0,4
1986	-0,5	-0,4	-0,2	-0,2	-0,1	0,0	0,3	0,5	0,7	0,9	1,1	1,2
1987	1,2	1,3	1,2	1,1	1,0	1,2	1,4	1,6	1,6	1,5	1,3	1,1
1988	0,8	0,5	0,1	-0,2	-0,8	-1,2	-1,3	-1,2	-1,3	-1,6	-1,9	-1,9
1989	-1,7	-1,5	-1,1	-0,8	-0,6	-0,4	-0,3	-0,3	-0,3	-0,3	-0,2	-0,1
1990	0,1	0,2	0,3	0,3	0,2	0,2	0,3	0,3	0,4	0,3	0,4	0,4
1991	0,3	0,2	0,2	0,3	0,5	0,7	0,8	0,7	0,7	0,8	1,2	1,4
1992	1,6	1,5	1,4	1,2	1,0	0,7	0,3	0,0	-0,2	-0,3	-0,2	0,0
1993	0,2	0,3	0,5	0,6	0,6	0,5	0,3	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1
1994	0,1	0,1	0,2	0,3	0,4	0,4	0,4	0,4	0,5	0,7	1,0	1,2
1995	1,0	0,8	0,6	0,3	0,2	0,0	-0,2	-0,4	-0,7	-0,8	-0,9	-0,9
1996	-0,9	-0,8	-0,6	-0,4	-0,3	-0,2	-0,2	-0,3	-0,3	-0,3	-0,4	-0,5
1997	-0,5	-0,4	-0,1	0,2	0,7	1,2	1,5	1,8	2,1	2,3	2,4	2,3
1998	2,2	1,8	1,4	0,9	0,4	-0,2	-0,7	-1,0	-1,2	-1,3	-1,4	-1,5
1999	-1,5	-1,3	-1,0	-0,9	-0,9	-1,0	-1,0	-1,1	-1,1	-1,3	-1,5	-1,7
2000	-1,7	-1,5	-1,2	-0,9	-0,8	-0,7	-0,6	-0,5	-0,6	-0,6	-0,8	-0,8
2001	-0,7	-0,6	-0,5	-0,4	-0,2	-0,1	0,0	0,0	-0,1	-0,2	-0,3	-0,3
2002	-0,2	0,0	0,1	0,3	0,5	0,7	0,8	0,8	0,9	1,2	1,3	1,3
2003	1,1	0,8	0,4	0,0	-0,2	-0,1	0,2	0,4	0,4	0,4	0,4	0,3
2004	0,3	0,2	0,1	0,1	0,2	0,3	0,5	0,7	0,8	0,7	0,7	0,7
2005	0,6	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	0,2	0,1	0,0	-0,2	-0,5	-0,8
2006	-0,9	-0,7	-0,5	-0,3	0,0	0,1	0,2	0,3	0,5	0,8	1,0	1,0
2007	0,7	0,3	-0,1	-0,2	-0,3	-0,3	-0,4	-0,6	-0,8	-1,1	-1,2	-1,4
2008	-1,5	-1,5	-1,2	-0,9	-0,7	-0,5	-0,3	-0,2	-0,1	-0,2	-0,5	-0,7

(Fuente: NOAA, National Weather Service. Climate Prediction Center. Recuperado de;  
[http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis\\_monitoring/ensostuff/ensoyears.shtml](http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ensoyears.shtml))



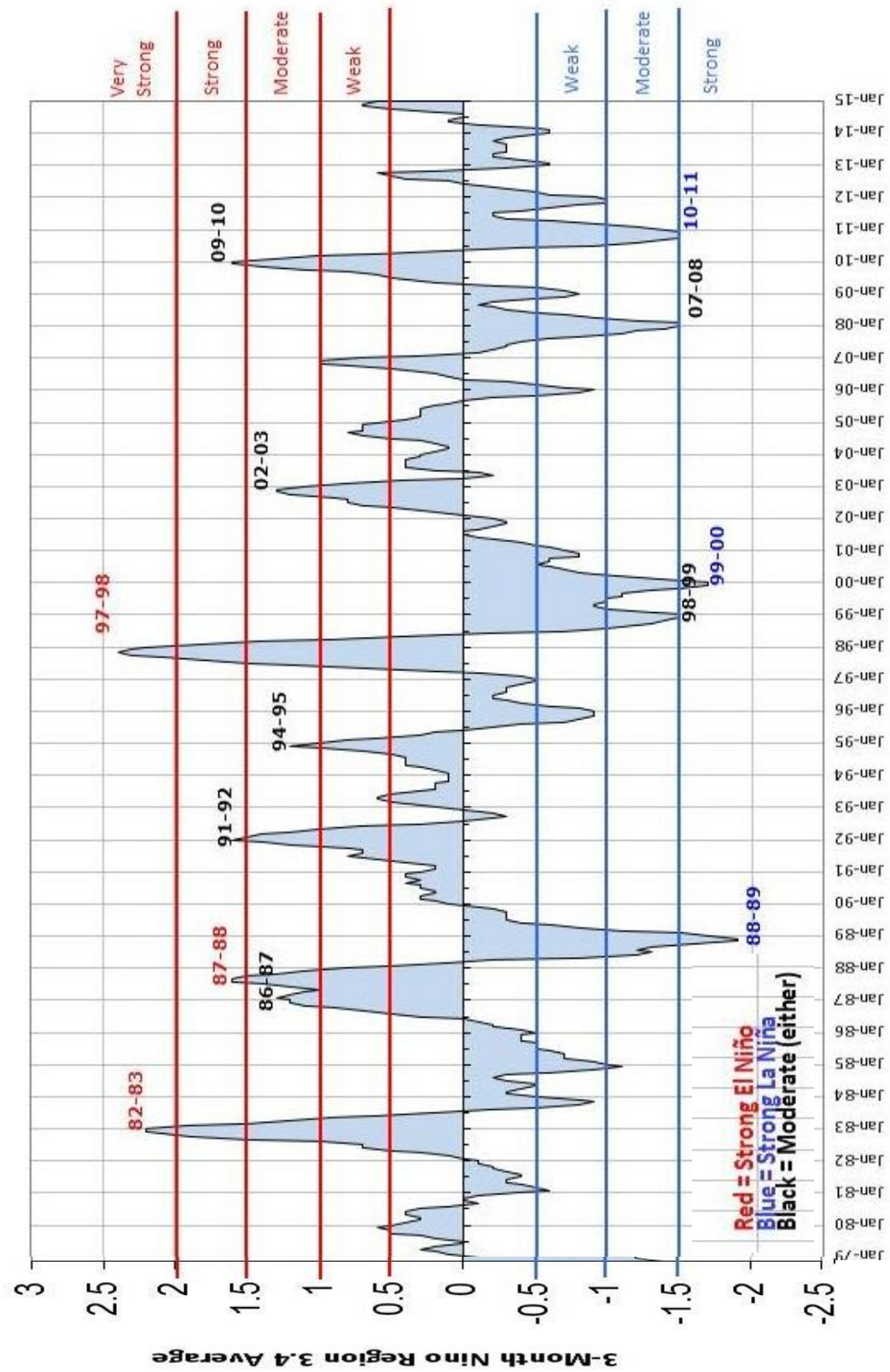


Figura A2.1: Índice Oceánico del Niño (ONI). Intensidad del evento ENOS.  
Recuperado de <http://ggweather.com/enso/oni.htm>

### ANEXO 3

Precipitación acumulada promedio. Periodo 2000-2008.

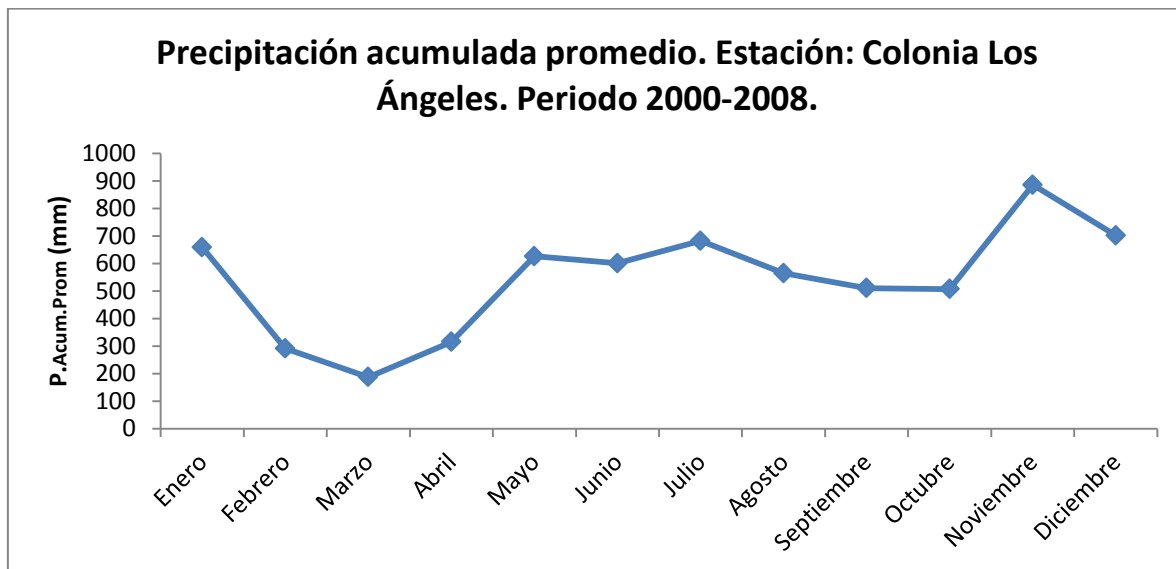


Figura A3.1: Precipitación mensual acumulada promedio. Estación: Colonia L. Ángeles (ZN).

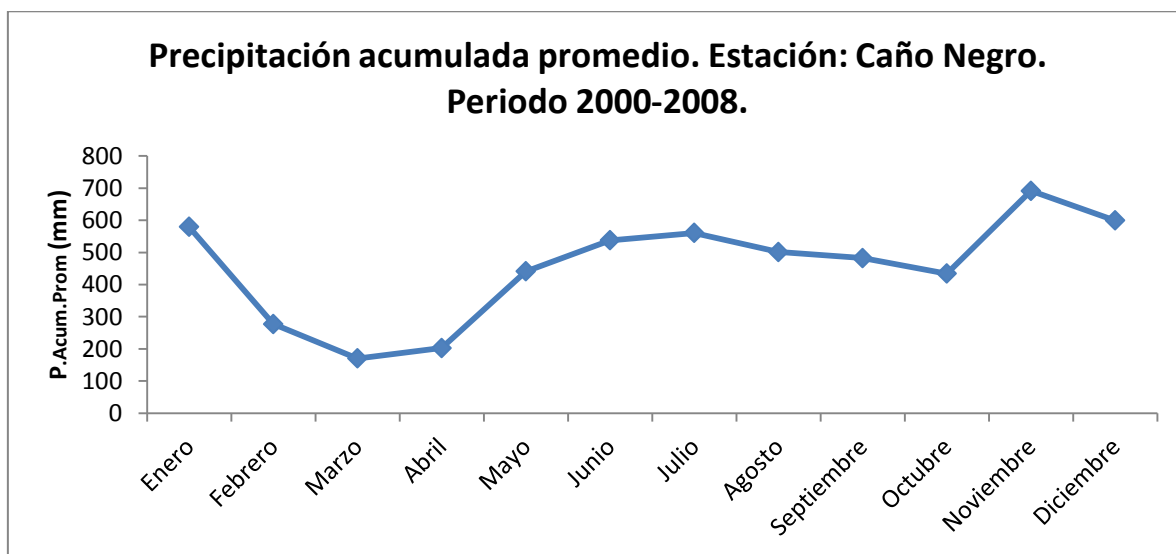


Figura A3.2: Precipitación mensual acumulada promedio. Estación: Caño Negro (ZN).

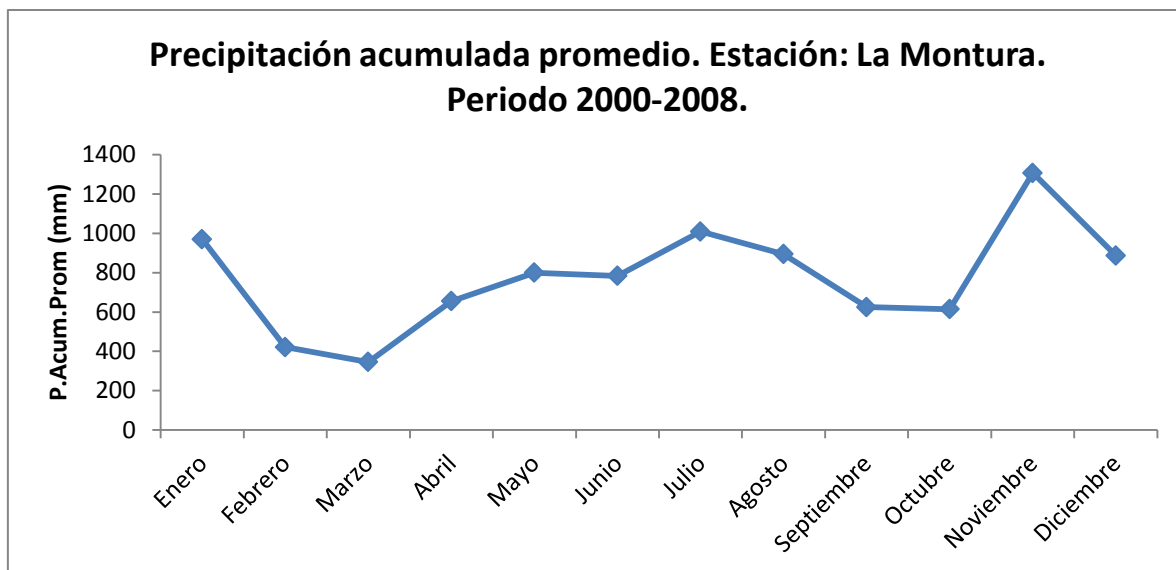


Figura A3.3: Precipitación mensual acumulada promedio. Estación: La Montura (RC).

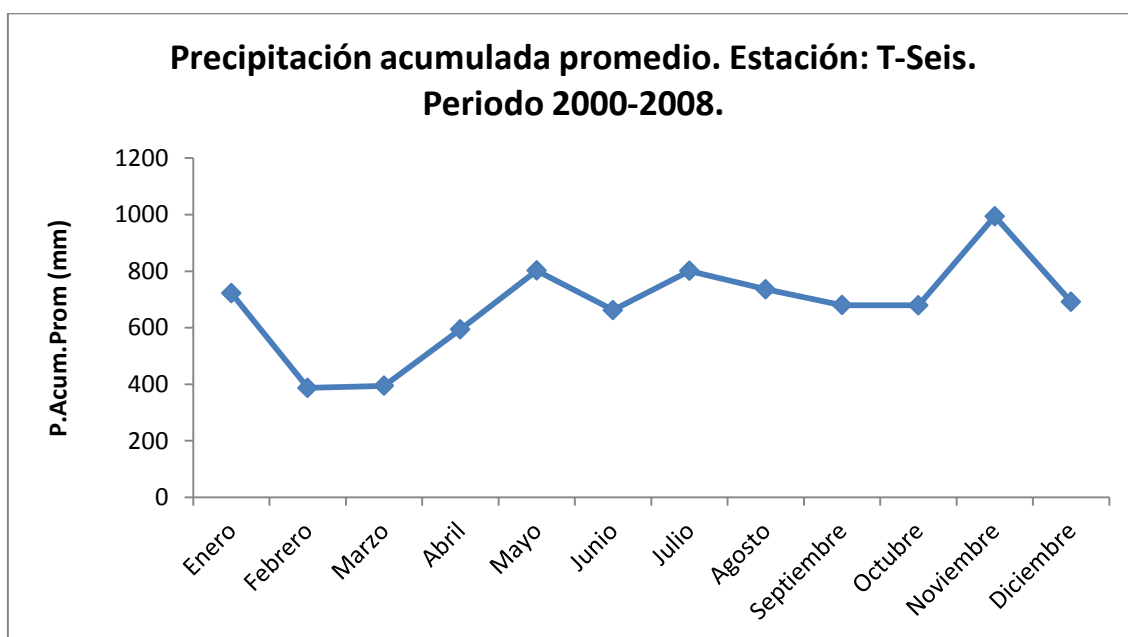


Figura A3.4: Precipitación mensual acumulada promedio. Estación: T-Seis (RC).



Figura A3.5: Precipitación mensual acumulada promedio. Estación: Naranjillo (PC).



Figura A3.6: Precipitación mensual acumulada promedio. Estación: S. P. Savegre (PC).

## REFERENCIAS

- Alfaro, E. Perez-Briceño, P. (2014). Análisis del impacto de fenómenos meteorológicos en Costa Rica, America Central, originados en los mares circundantes. *Rev. Climatología*, 14 (2014), 1-11.
- Alfaro, E. Soley, J. (2009). Descripción de dos métodos de rellenado de datos ausentes en series de tiempo meteorológicas. *Rev. Mate: Teoría y Aplicaciones*, 16(1), 60-75.
- Alvarado, L.F. Fernández, W. (2001a). Climatología de la atmósfera libre sobre Costa Rica. *Tóp. Meteor. Oceanog.*, (8)2, 89-115.
- Alvarado, L.F. Fernández, W. (2001b). Relación de las anomalías climáticas de la atmosfera libre del Costa Rica y la variabilidad de las precipitaciones de durante eventos de El Niño. *Tóp. Meteor. Oceanog.*, (8)2, 145-157.
- Amador, J. Chacón, R. Laporte, S. (2000). Cuenca del Río Arenal: Análisis de los eventos La Niña 1988-89 y 1996. *Tóp. Meteor. Oceanog.*, 7 (1), 1-20.
- Amador, J. Laporte, S. Chacón, R. (2000). Cuenca del Río Arenal: Análisis de los eventos Niño de los años 1992-93, 1994-95, 1997-98. *Tóp. Meteor. Oceanog.*, 7 (1), 1-20.
- Fernández, W. Ramírez, P. (1991). El Niño la Oscilación del Sur y sus efectos en Costa Rica. Una revisión. *Tecnología en Marcha*, 11(1). Sp.
- Houze, R.A. (1993). *Cloud Dynamics*. Academic Press, Inc. San Diego, California. pp 573.
- IMN-CRRH (2008). *Clima, Variabilidad y Cambio Climático en Costa Rica*. Instituto Meteorológico Nacional (IMN), Comité Regional de Recursos Hidráulicos (CRRH), San José, Costa Rica.
- IMN-DMSA (2013). *Manual de Conceptos Meteorológicos*. Instituto Meteorológico Nacional. Ministerio de Ambiente y Energía. San José, Costa Rica.
- IMN (Instituto Meteorológico Nacional). 2008. *Resumen Meteorológico 2008. Informe Preliminar*. Instituto Meteorológico Nacional. Ministerio de Ambiente y Energía. San José, Costa Rica. Recuperado de <http://www.imn.ac.cr/boletines/resumen2008.html>
- Muñoz, A.C. Fernández, W. Gutiérrez, J.A. Zárate, E. (2002). Variación estacional del viento en Costa Rica y su relación con los regímenes de lluvia. *Top. Meteor. Oceanog.*, 9(1), 1-13.
- PHI-LAC/UNESCO, (2007). *Balance hídrico superficial de Costa Rica. Período: 1970-2002*. Documento Técnico del PHI-LAC N° 10, UNESCO-ICE-CRRH-IMN.

Rapp, A.D. Peterson, A.G. Frauenfeld, O.W. Quiring, S.M. Roark, E.B. (2014). Climatology of Storm Characteristics in Costa Rica using the TRMM Precipitation Radar. *Journal of Hydrometeorology*. 19, 2615-2633. DOI: 10.1175/JHM-D-13-0174.1

Retana, J. Villalobos, R. (2000). Caracterización Pluviométrica de la fase cálida de ENOS con base en probabilidades de ocurrencia de eventos en tres escenarios: Seco, Normal y Lluvioso. *Tópicos Meteorológicos y Oceanográficos*, 7 (2), 124-131.

Waylen, P.R. Caviedes, C.N. Quesada, M. (1996). Interannual Variability of Precipitation in Costa Rica. *Journal of Climate*, 9 (1996), 2606-2613.

Waylen, P.R. Quesada, M. Caviedes, C.N. (1995). Temporal and Spacial Variability of Annual Precipitation in Costa Rica and the Southern Oscillation. *International Journal of Climatology*, 16 (1996), 173-193.

Wilks, D.S. (2006). *Statistical Methods in the Atmospheric Sciences*. 2ed. Elsevier. 337-398. New York.

Zárate, H.E. (1977). Principales sistemas de vientos que afectan a Costa Rica y sus relaciones con la precipitación. Tesis de grado. Escuela de Física. UCR. San José, Costa Rica.

Zárate, H.E. (1978). Comportamiento del viento en Costa Rica. Nota Invest.Nº2. Instituto Meteorológico Nacional, San José, Costa Rica.